МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МАМИ»

Акимов А. В.

ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ГЕНЕРАТОРА С КЛЮВООБРАЗНЫМ РОТОРОМ

методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Теория, конструкция и расчет автотракторного электрооборудования» Раздел «Теория, конструкция и расчет систем электроснабжения автомобилей и тракторов» для студентов, обучающихся по специальности 140607 «Электрооборудование автомобилей и тракторов»

Учебное пособие

Под общей редакцией Акимова А.В.

Москва

2011

Разработано в соответствии с Государственным образовательным стандартом ВПО 2000 г. для направления подготовки дипломированного специалиста 140600 «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» по специальности 140607 «Электрооборудование автомобилей и тракторов»

Рецензент: заведующий кафедрой «Электротехника и компьютеризированные электромеханические системы» Московского государственного технического университета «МАМИ»
д.т.н. профессор В.В.Лохнин

Работа подготовлена на кафедре « Автотракторное электрооборудование

Согласованно: Зав. кафедрой «Автотракторное электрооборудование» к.т.н. проф. Коротков В.И.

Андрей Валентинович Акимов
«Поверочный расчет генератора с клювообразным ротором»

Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Теория, конструкция и расчет автотракторного электрооборудования» раздел «Теория, конструкция и расчет систем электроснабжения автомобилей и тракторов» для студентов, обучающихся по специальности 140607 «Электрооборудование автомобилей и тракторов» -М.: МГТУ «МАМИ», 2011.-53с.

Данные методические указания предназначены для студентов специальности 140607, изучающих дисциплину «Теория, конструкция и расчет автотракторного электрооборудования» раздел «Теория, конструкция и расчет систем электроснабжения автомобилей и тракторов» В методических указаниях для выполнения расчетной части курсового проекта приведены перечень исходных данных поверочного расчета генераторов с клювообразным ротором, методика расчета его характеристики холостого хода и токоскоростной характеристики с примером расчета, а также 51 вариант заданий на расчет.

© Акимов А.В.

© МГТУ«МАМИ» ,2011

Содержание

1. Пояснения к работе……..4

2. Исходные данные расчёта генератора с клювообразным ротором……11

3. Расчёт магнитных проводимостей рассеяния клювообразного ротора… ….14

4. Расчёт характеристики холостого хода генератора…… 17

5. Расчет токоскоростной характеристики генератора……26

Приложение 1. Варианты задания на поверочный расчёт генератора ……30

Приложение 2. Зависимости, используемые при расчёте магнитных проводимостей ротора генератора…… ……35

Приложение 3. Экспериментально полученные зависимости, используемые при расчете генератора……..……42

Приложение 4. Зависимости, учитывающие работу выпрямительных блоков в реальных условия…… 45

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучить методику и отработать практические навыки поверочного расчета генератора с клювообразным ротором

ЗАДАНИЕ:

1. Подготовить исходные данные расчёта
2. Рассчитать магнитные проводимости рассеяния ротора генератора
3. Рассчитать характеристику холостого хода генератора
4. Рассчитать токоскоростную характеристику генератора

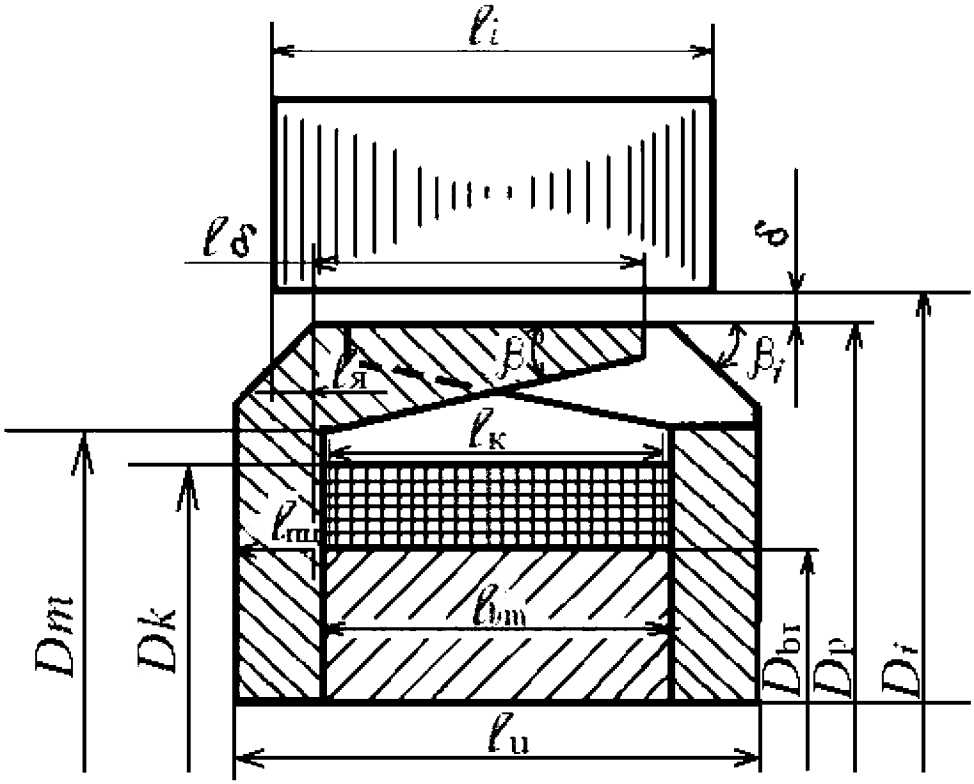
1. ПОЯСНЕНИЯ К РАБОТЕ

Исходными данными для расчёта являются номинальное напряжение генератора, основные размеры магнитной цепи генератора, обмоточные данные генератора, магнитные материалы, используемые в магнитопроводе генератора. Перечень исходных данных представлен в разделе 2 данной методички, а основные размеры магнитной цепи показаны на рисунке 1.1и рисунке 1.2.

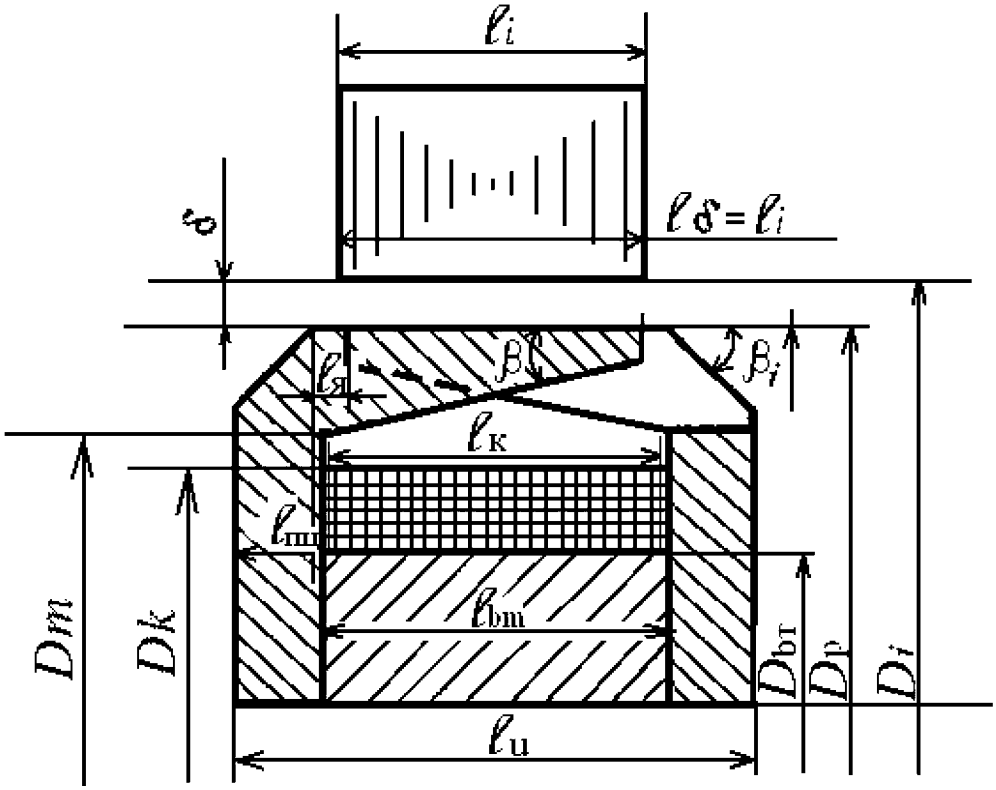
Результатом расчёта характеристики холостого хода генератора является зависимость напряжения фазы генератора $U_ф$ от величины тока возбуждения $I_в$ при отсутствии тока нагрузки генератора ($I_d = 0$) и постоянной частоте вращения его ротора $n = n_{исх}$. Как правило частота вращения ротора $n_{исх}$ принимается равной 1000 об/мин.

В основе расчета характеристики холостого хода лежит расчёт магнитной цепи генератора. При этом учитываются следующие магнитные потоки: магнитный поток через воздушный рабочий зазор $Ф_δ$, магнитные потоки рассеяния (рисунок 1.3): межполюсного рассеяния $Ф_{σп}$, внешнего рассеяния поперёк листов статора $Ф_{σя}$ внешнего рассеяния вокруг машины $Ф_{σ\,вн}$, магнитного рассеяния по катушке возбуждения $Ф_{σк}$, магнитного рассеяния над катушкой возбуждения (аксиального рассеяния) $Ф_{σа}$.

В начале расчёта определяют магнитные проводимости рассеяния ротора, соответствующие каждому из магнитных потоков рассеяния. Так как магнитные потоки рассеяния в основном проходят по воздуху, то проводимости рассеяния при расчёте принимаются величинами постоянными. Методика расчёта проводимостей рассеяния представлена в разделе 3.



а)



б)

Рисунок 1.1.- Магнитная цепь автомобильного генератора с клювообразным ротором.

а. Полюсная система короче пакета статора.

б. Полюсная система длиннее пакета статора.

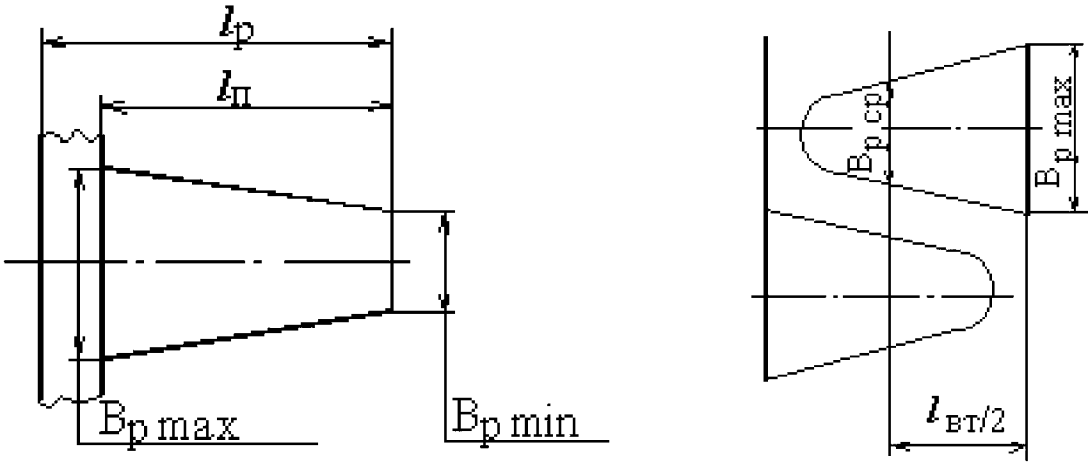


Рисунок. 1.2.-. Клювы ротора генератора.

В заключительной стадии расчёта задаются рядом значений ЭДС генератора при соединении фаз обмотки статора генератора в “звезду” в диапазоне от 3 до 10 Вольт, а при соединении в “треугольник” от 5 до 17 Вольт.

Для каждого из заданных ЭДС производят расчёт магнитного потока в воздушном зазоре $\Phi\delta$ и далее расчёт схемы замещения магнитной цепи (рисунок. 1.4), где $R_j, R_z, R_б, R_п, R_{из.п.}, R_{сбк}, R_{изг.вт.}$ соответственно магнитные сопротивления следующих участков магнитопровода: ярма статора, зубца статора, рабочего воздушного зазора, полюса (клюва), изгиба полюса, сборного кольца, сборного кольца в районе прилегания ко втулке, где сгибаются магнитные силовые линии.

$F_в, F_{ad}$ - магнитодвижущие силы соответственно обмотки возбуждения и продольной реакции якоря,

$\Phi_б, \Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4, \Phi_{вт}$ - магнитные потоки через рабочий воздушный зазор и стальные участки магнитопровода.

$\Phi_{\sigma п}, G_{\sigma п}, \Phi_{\sigma я}, G_{\sigma я}, \Phi_{\sigma вн}, G_{\sigma вн}, \Phi_{\sigma к}, G_{\sigma k}, \Phi_{\sigma a}, G_{\sigma a}$ -магнитные потоки и магнитные проводимости рассеяния ротора генератора.

. Учитывая то, что металлические части магнитопровода имеют переменное магнитное сопротивление,

зависящее от величины протекающего через них магнитного потока, расчёт ведётся с использованием методов расчёта нелинейных цепей.

Так для каждого металлического участка магнитопровода определяют магнитную индукцию на участке. Далее по таблицам .П. 3.1, П. 3.2 намагничивания материала участка определяют напряжённость магнитного поля в участке и умножением

вышеуказанной напряжённости на длину магнитной силовой линии на участке (рисунок. 1.5) определяют падение магнитодвижущей силы (МДС) на участке.

МДС обмотки возбуждения F_B определяется путем суммирования МДС на всех участках.

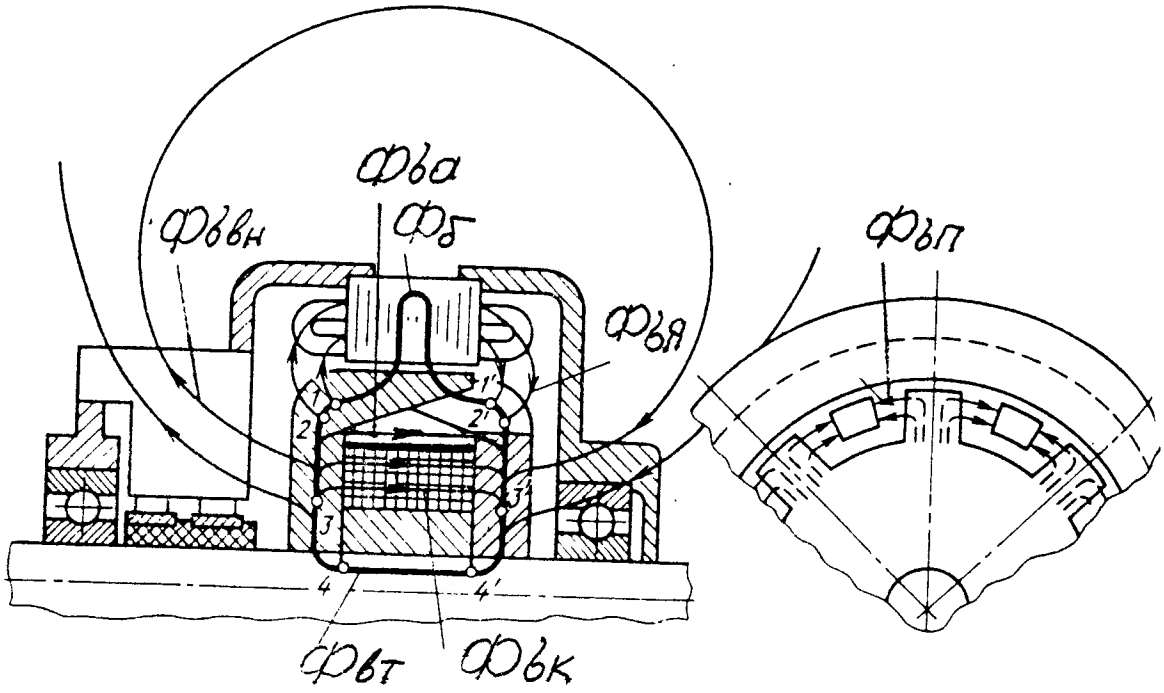


Рисунок. 1.3- Магнитные потоки автомобильного генератора с клювообразным ротором.

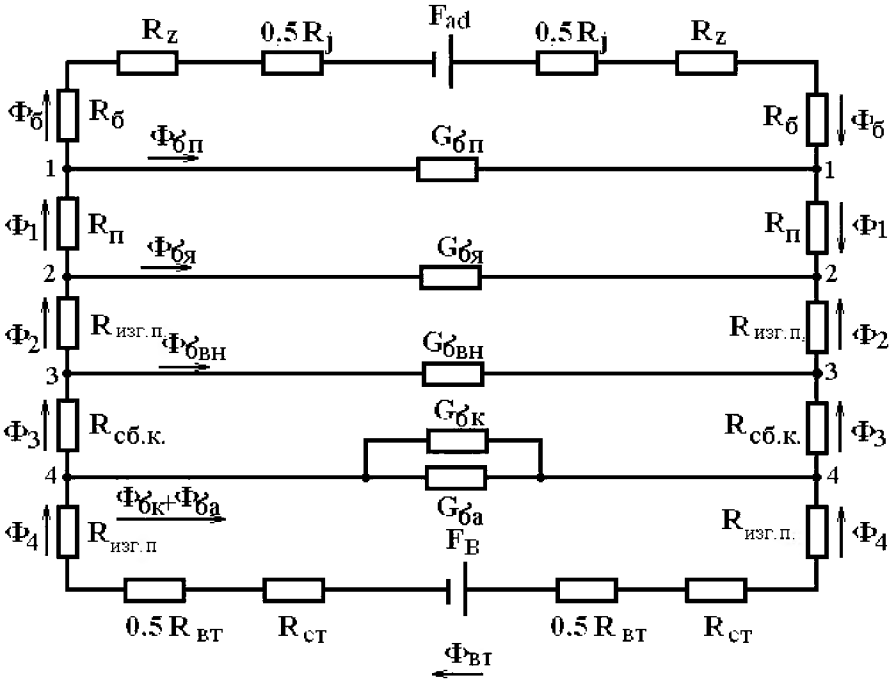


Рисунок. 1.4- Схема замещения магнитной цепи автотракторного генератора с клювообразным ротором, при расчете на пару полюсов.

Напряжение фазы генератора $U_Ф$ при отсутствии тока нагрузки принимается равным ЭДС генератора E_0, а величина тока возбуждения I_B получается делением МДС возбуждения F_B на число витков обмотки возбуждения W_B

$I_B = F_B / W_B$

Если максимальное значение тока возбуждения, полученное в результате расчета характеристики, меньше заданного в исходных данных максимального тока возбуждения, то следует повторить расчет, при большем значении ЭДС генератора

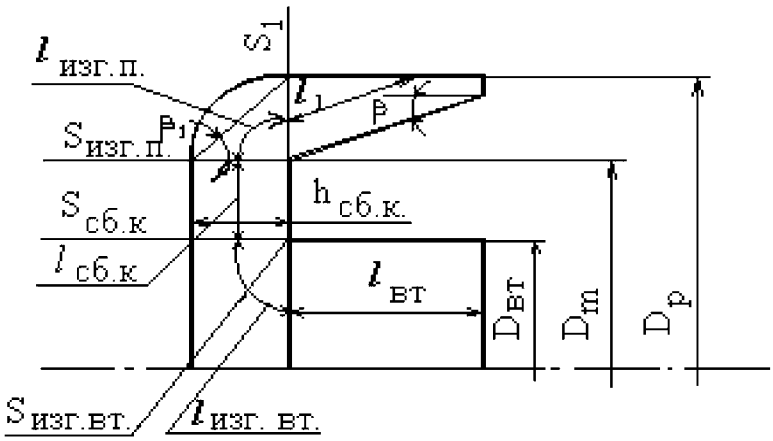


Рисунок 1.5- Длины средних силовых линий и площади сечений участков магнитной цепи.

При расчёте токоскоростной характеристики в данной методичке используется упрощённая методика, допускающая, что индуктивное сопротивление синхронного генератора по продольной оси Xd равно индуктивному сопротивлению этого генератора по поперечной оси: Xd = Xq.

Векторная диаграмма, соответствующая этому допущению представлена на рисунке 1.6.

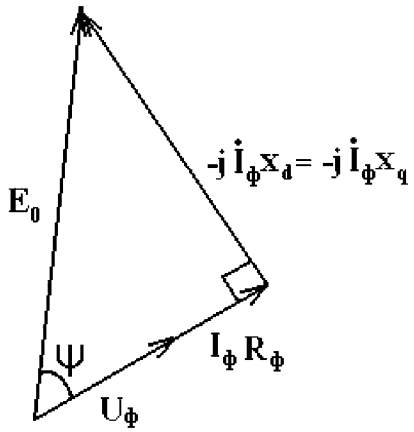


Рисунок 1.6- Векторная диаграмма синхронного генератора при Xd = Xq.

Так как нагрузка генератора включена через выпрямительный блок и является активной, то направление векторов фазного напряжения $U_ф$ генератора и активное падение напряжения в обмотке статора $U_a = I_ф R_ф$ ($I_ф$ и $R_ф$ – ток и сопротивление фазы обмотки статора генератора) совпадают, а вектор индуктивного падения напряжения $-j\, I_ф x_d$ сдвинут по отношению к первым двум векторам на 90 градусов.

ЭДС генератора E_o сдвинуто относительно фазы напряжения на угол ψ.

Векторная диаграмма представляет собой прямоугольный треугольник.

Для её векторов применима теорема Пифагора.

$$E_0^2 = (U_ф + I_ф R_ф)^2 + (I_ф \times x_d)^2 \quad , \qquad (1)$$

где для режима токоскоростной характеристики ЭДС E_o можно определить, как

$$E_0 = \frac{U_{фx} \times n}{n_x}$$

величину $U_{фx}$ фазного напряжения генератора при начальной частоте вращения ротора генератора без нагрузки ($I_d = 0$):$n = n_x$ при выпрямленном напряжении генератора U_d. $U_{фx}$ определяется по кривым приложения 4 при $I_d = 0$, напряжении генератора U_d и

$$E_0 = \frac{U_{фx} \times n}{n_x}$$

соотвтствующей схеве соединения фаз обмотки статора генератора. Так как ЭДС генератора пропорциональна частоте вращения его ротора n, то можно написать

Аналогично, так как индуктивное сопротивление генератора пропорционально частоте вращения, то для него можно написать:

$$x_d = A_d \frac{n}{n_x}$$

где $A_d = x_{dx}$ – значение индуктивного сопротивления при начальной частоте вращения ротора генератора без нагрузки n_x.

Подставив полученные соотношения для E_o и x_d в формулу (1) после преобразования получим расчётную формулу для токоскоростной характеристики :

$$n = \frac{U_ф + I_ф R_ф}{\sqrt{U_{фx}^2 - (I_ф \times A_d)^2}} \times n_x \qquad (2)$$

При её использовании величину $U_ф$ следует определять из кривых, приведённых в приложении 4 для выбранного заранее расчётного значения тока нагрузки генератора.

Расчётный ток нагрузки генератора следует задавать в диапазоне от 0 до максимального значения $I_{d\,макс}$ определяемого по формуле:

$$I_{dмакс}=\frac{I_{фмакс}}{к_I}=\frac{U_{фх}}{x_{dx}\times k_I}=\frac{U_{фх}}{A_d\times k_I}$$

где максимальный ток фазы генератора $I_{ф\,макс}$ принимают равным току короткого замыкания генератора

$$I_{кз}=\frac{U_{фх}}{A_d}$$

k_I – коэффициент выпрямления по току берётся из рисунке П.4.1. Как известно начальная частота вращения ротора генератора без нагрузки n_x, соответствует частоте вращения, при котором генератор в режиме холостого хода обеспечивает расчётную величину выпрямленного напряжения U_d и величину ЭДС $U_{фх}$.

Для определения n_x необходимо на ранее рассчитанной характеристике холостого хода при частоте $n_{исх}$= 1000 об/мин. определить ЭДС генератора $U_{ф\,исх}$ соответствующую расчётной величине тока возбуждения генератора $I_в$.

После этого $$n_x=n_{исх}\frac{U_{фх}}{U_{фисх}}$$

На начальной стадии расчёта необходимо определить исходные параметры расчёта. Так исходя из требования технического задания выбирается расчётное напряжение U_d, состояние генератора: горячее или холодное. В зависимости от состояния генератора по разному рассчитываются сопротивления обмотки возбуждения RB и обмотки статора Rф. В соответствии с чем расчетный ток возбуждения может иметь разную величину.

Устанавливается - ведется ли расчет для генератора с регулятором напряжения или без него, что также влияет на величину расчетного тока возбуждения генератора.

Определяются активные и индуктивные сопротивления генератора, расчетный ток возбуждения, частота начала отдачи генератора и другие параметры входящие в формулу (2).

При этом расчет формулы (2) ведется для нескольких значений тока Id из диапазона от 0 до Idмакс.

2.Исходные данные расчета генератора с клювообразным ротором

N	Данные расчета	Обозначения	Размер-ность	Пример расчета
1	2	3	4	5
2.0	**Номинальное напряжение генератора**	U_d	В	14
2.1	**Размеры статора**			
2.1.1	Марка стали		-	Э11
2.1.2	Внешний диаметр статора	$D_н$	м	$108*10^{-3}$
2.1.3	Диаметр расточки статора	D_i	м	$74*10^{-3}$
2.1.4	Длина пакета статора	ℓ_i	м	$25*10^{-3}$
2.1.5	Воздушный зазор	δ	м	$0,35*10^{-3}$
2.1.6	Число пазов	Z_1	-	36
2.1.7	Ширина паза у основания	a_c	м	$2*10^{-3}$
2.1.8	Высота паза	$h_п$	м	$11*10^{-3}$
2.2	**Обмотка статора**			
2.2.1	Схема соединения			Y
2.2.2	Шаг обмотки по пазам	y	-	3
2.2.3	Диаметр провода обмотки статора (без изоляции)	$d_{осгол}$	м	$1,08*10^{-3}$
2.2.4	Число витков в фазе	$W_ф$		60
2.2.5	Число параллельных проводов	K	-	1
2.2.6	Длина лобовой части	$\ell_л$	м	$30,5*10^{-3}$
2.3	**Размеры ротора**			
2.3.1	Марка материала ротора		-	Ст.10
2.3.2	Число пар полюсов	P	-	6
2.3.3	Диаметр ротора	D_p	м	$73,3*10^{-3}$
2.3.4	Максимальная ширина полюса	b_{pmax}	м	$18*10^{-3}$
2.3.5	Минимальная ширина полюса	b_{pmin}	м	$8*10^{-3}$
2.3.6	Угол скоса полюсов	β	град	$14^0 13^I$
2.3.7	Угол скоса торцевой конической части полюса	β_1	град	45^0
2.3.8	Длина полюса	$\ell_п$	м	$24*10^{-3}$
2.3.9	Ширина сборного кольца	$h_{сб.к.}$	м	$9,5*10^{-3}$
2.3.10	Внутренний диаметр полюсной системы	D_m	м	$56*10^{-3}$
2.3.11	Диаметр втулки	$D_{вт}$	м	$39*10^{-3}$
2.3.12	Длина втулки	$\ell_{вт}$	м	$33,5*10^{-3}$
2.3.13	Длина ротора	ℓ_u	м	$52,5*10^{-3}$
2.3.14	Ширина полюса под серединой статора	$b_{p.ср.}$	м	13
2.3.15	Длина конического скоса наружной поверхности ротора (рисунок 1.1)	$\ell_{пц}$	м	$6,5*10^{-3}$
2.3.16	Расстояние от бокового ребра статора до бокового ребра полюса (рис 1.1)	$\ell_я$	м	$0,5*10^{-3}$

1	2	3	4	5
2.4	**<u>Обмотка возбуждения</u>**			
2.4.1	Число витков обмотки возбуждения	Wв	-	480
2.4.2	Диаметр провода обмотки возбуждения (без изоляции)	dовгол	м	$0,64*10^{-3}$
2.4.3	Диаметр катушки возбуждения	Dк	м	$54,3*10^{-3}$
2.4.4	Длина катушки возбуждения	ℓк	м	$30,5*10^{-3}$
2.4.5	Сопротивление катушки возбуждения а) в холодном состоянии при $t_0=20^0C$ $Rвх=(\frac{Dk+Dвт}{2})W_в * Rпр$ Здесь Rпр-сопротивление 1 км провода б) в горячем состоянии (75^0C) Rвг=1,24* Rвх	Rвх Rвг	Ом Ом	3,77 4,67
2.4.6	Максимальный ток возбуждения а) без регулятора напряжения - в холодном состоянии $Iвх=\frac{Ud-\Delta Uщ}{Rвх}$ б) без регулятора напряжения в горячем состоянии $Rвг=\frac{Ud-\Delta Uщ}{R_{ВГ}}$ б) в комплекте с регулятором напряжения - в горячем состоянии $Iврг=\frac{Ud-\Delta Uщ-\Delta Up}{R_{ВГ}}$ Здесь $\Delta Uщ$- падение напряжения в щеточно-контактном узле генератора: - в холодном состоянии при номинальном давлении нажимных пружин - в горячем состоянии при номинальном давлении нажимных пружин Зависимости $\Delta Uщ = f(Iв)$ для различных тепловых состояний и различных давлений нажимных пружин приведены на рис. П.3.1 ΔUp – падение напряжения в регуляторе напряжением (14В) при Iв=5А ΔUp=(1,[illegible] – 1,57В) ,для (28В) при Iв=3А ΔUp=(0,[illegible] 1,54В)	Iвх Iвг Iврг ΔUщ.х ΔUщ.г ΔUp	А А А В В В	3,46 2,85 2,55 0,95 0,65 1,3

1	2	3	4	5
2.5	**<u>Расчетные данные</u>**			
2.5.1	Полюсное деление $\tau = \frac{\pi Di}{2p}$	τ	м	$19{,}4*10^{-3}$
2.5.2	Зубцовое деление $t_1 = \frac{\pi Di}{Z}$	t_1	м	$6{,}46*10^{-3}$
2.5.	Коэффициент воздушного зазора(обозначения приведены на рис.1.1) $K\delta = \frac{t_1 + 5\delta \frac{t_1}{a_c}}{t_1 - a_c + 5\delta \frac{t_1}{a_c}}$	$K\delta$	-	1,198
2.5.	Число пазов на полюс и фазу $q = \frac{Z}{2mp}$	q	-	1,0
2.5.	Шаг обмотки в долях полюсного деления $\beta = \frac{y}{mq}$	β	-	1,0
2.5.	Сечение фазы обмотки статора $q_ф = \pi d^2_{ос\ гол} * K / 4$	$q_ф$	$м^2$	$0{,}985*10^{-6}$
2.5.	Обмоточный коэффициент первой гармоники $Коб_1 = Кр_1 Ку_1 = \frac{\sin\frac{\pi}{2m}}{q\sin\frac{\pi}{q2m}} \sin\frac{\beta\pi}{2}$ Здесь $Кр_1$-коэффициент распределения; для обмоток с q=0,5 и q=1 равен Кр1=1 Для: q=0,5 Коб1=0866 q=1 Коб1=1 q=2 Коб1=0,966	$Коб_1$	-	1,0
2.5.	Коэффициент полюсного перекрытия: для трапецеидальной формы полюса $\alpha_c = \frac{вр\max + вр\min}{2\tau}$ - для синусоидальной формы полюса $\alpha_c = \frac{вр ср}{\tau}$	α_c	-	0,67

3.	**РАСЧЁТ МАГНИТНЫХ ПРОВОДИМОСТЕЙ РАССЕЯНИЯ КЛЮВООБРАЗНОГО РОТОРА**			
3.1.	Магнитная проводимость междуполюсного рассеяния $G\sigma_n = \mu_0 \cdot D_p \cdot \lambda\sigma_n$	$G\sigma_n$	Гн	$0.115 \cdot 10^{-6}$
	$\mu_0 = 1.256 \cdot 10^{-6}\ Гн/М$			
	Удельная магнитная проводимость междуполюсного рассеяния $\lambda\sigma_n = f(\lambda_n, \beta, \alpha_c, p)$ определяется по графикам рисунки.П.2.2-П.2-19	$\lambda\sigma_n$	--	1.25
.	Относительная длина полюса $\lambda_n = \frac{l_n}{D_p}$ где l_n -длина ротора	λ_n	--	0.342
. 3.2	Магнитная проводимость внешнего поля рассеяния поперёк листов статора. $G\sigma_я = \mu_0 \cdot D_p \cdot \lambda\sigma_я$	$G\sigma_я$	Гн	$0.0918 \cdot 10^{6}$
	Удельная магнитная проводимость внешнего рассеяния поперёк листов статора. а) если полюсная система длиннее пакета статора (рисунок 1.1.б) $\lambda\sigma_я = \frac{1}{p}[Q_0(W_0;\alpha_m) - \frac{2\beta_1}{\pi+2\beta_1} \cdot Q_0(W_s;\alpha_m) - -\frac{\pi}{\pi+2\beta_1} \cdot Q_0(W_m;\alpha_m)]$;	$\lambda\sigma_я$	--	0.997
	$W_0 = \frac{\pi \cdot (2-\alpha_m)}{4p \cdot \delta_D}$;	W_0	--	29.4
	$W_S = \frac{W_0}{\frac{\pi \cdot \varepsilon_я}{2 \cdot \delta_D} + 1}$;	W_S	--	0.85
	$W_m = \frac{W_0}{\frac{(\pi+2\beta_1)\lambda_{mц}}{2\delta_D \cdot \cos\beta_1} + \frac{\pi\varepsilon_я}{2\delta_D} + 1}$	W_m	--	0.195
	б) если полюсная система короче пакета статора (рисунок 1.1а) $\lambda\sigma_я = \frac{1}{p}[\frac{\pi}{2\beta_1} \cdot Q_0(W_0';\alpha_m) - (\frac{\pi}{2\beta_1} - \frac{\pi}{\pi+2\beta_1}) \cdot Q_0(W_S';\alpha_m) - \frac{\pi}{\pi+2\beta_1} Q_0(W_m';\alpha_m)]$;			

	$W_0^{'} = \frac{\pi(2-\alpha_m)}{4p\cdot\delta_D}$;			
	$W_S^{'} = \frac{W_0^{'}}{\beta_1\cdot\frac{\varepsilon_я}{\delta_D}+1}$;			
	$W_m^{'} = \frac{W_0^{'}}{\frac{(\pi+2\beta_1)\cdot\lambda_{mц}}{2\delta_D\cdot\cos\beta_1}-\frac{\pi\cdot\varepsilon_я}{2\delta_D}+1}$;			
	где:			0.927
	$\alpha_m = \frac{b_{p\max}}{\tau}$;	α_m	--	0.00477
	$\delta_D = \frac{\delta}{D_p}$;	δ_D	--	0.0873
	$\lambda_{mц} = \frac{l_{mц}}{D_p}$;	$\lambda_{mц}$	--	0.0885
	$\varepsilon_я = \frac{l_я}{D_p}$;	$\varepsilon_я$	--	8.8
	Функция $Q_0(\mathrm{W};\alpha_m)$ определяется по графикам (рисунок.П.2.1.)	$Q_0(Wq;\alpha m)$ $Q_0(Ws;\alpha m)$ $Q_0(Wm;\alpha m)$		4.4 2.23
3.3.	Магнитная проводимость внешнего рассеяния ротора вокруг машины по воздуху. $G\sigma_{вн} = \frac{1}{p}\cdot\mu_0\cdot D_p\cdot\lambda\cdot\sigma_{вн}$	$G\sigma_{вн}$	Гн	$0.147\cdot10^{6}$
	Удельная проводимость внешнего рассеивания. $\lambda\sigma_{вн} = \frac{\ln\frac{\pi}{\lambda_и}}{2(1-\frac{\lambda_и}{\pi})}$	$\lambda\sigma_{вн}$ $\lambda_и$	-- --	0.957 0.717

3.4	$\lambda_u = \frac{l_u}{D_p}$			$0.004 \cdot 10^{6}$
	Магнитная проводимость рассеяния катушки возбуждения.	$G\sigma_k$	Гн	
	$G\sigma_k = \frac{1}{p} \cdot \mu_0 \cdot D_p \cdot \lambda\sigma_k$			0.264
	Удельная магнитная проводимость катушки возбуждения.	$\lambda\sigma_k$	--	
3.5	$\lambda\sigma_k = \frac{\pi}{12} \cdot \frac{2 \cdot D_k^2 - D_k \cdot D_{вт} - D_{вт}^2}{D_p \cdot l_{вт}}$			$0.001 \cdot 10^{6}$
	Магнитная проводимость аксиального рассеяния.	$G\sigma_a$	Гн	
	$G\sigma_a = \frac{1}{p} \cdot \mu_0 \cdot D_p \cdot \lambda\sigma_a$			0.0659
	Удельная магнитная проводимость аксиального рассеяния.	$\lambda\sigma_a$	--	
	$\lambda\sigma_a = \frac{\pi}{4 l_{вт}} \cdot \left(\frac{D_m^2 - D_k^2}{D_p}\right)$			

4. Расчет характеристики холостого хода генератора

N	Данные расчета	Обозначения	Размер-ность	Пример расчета
1	2	3	4	5
4.1	Магнитный поток в воздушном зазоре $\Phi\delta = \dfrac{E0}{4{,}44 * \dfrac{pn}{60} * Wф * Коб1}$ n=nисх. – скорость вращения ротора при которой проводится расчет характеристики холостого хода	$\Phi\delta$ nисх	Вб мин$^{-1}$	$37{,}5*10^{-6}E_0$ 1000
4.2	Площадь воздушного зазора $S\delta = \dfrac{вpмах + вp\min}{2}\ell\delta$ или $S\delta = \beta pср * \ell\delta$ здесь $\ell\delta$ - длина активной части полюса, ,находящейся под статором	$S\delta$ $\ell\delta$	м^2 м	$266{,}5*10^{-6}$ $20{,}5*10^{-3}$
4.3	Индукция в воздушном зазоре $B\delta = \dfrac{\Phi\delta}{S\delta}$	$B\delta$	Тл	$0{,}141\ E_0$
4.4	Магнитное напряжение воздушного зазора $F\delta = 2*0.8*K\delta * \delta * B\delta * 10^6$	$F\delta$	А	$93{,}8\ E_0$
4.5	Магнитный поток на зубцовое деление $\Phi t = B\delta * \ell i * t_1$	Φt	Вб	$22{,}77*10^{-6}E_0$
4.6	Индукция в зубце статора $Bz = \dfrac{\Phi t}{Sz}$	Bz	Тл	$0{,}16\ E_0$
4.7	Сечение зубца статора $Sz = \beta z * \ell i * Kc$ βz-ширина зубца Kc=(0,9+0,95)-коэффициент заполнения пакета статора сталью	Sz βz Kc	м^2 м -	$142*10^{-6}$ $3{,}0*10^{-3}$ 0,95
4.8	Магнитное напряжение зубцов статора Fz=2hz*Hz hz-высота зубца Hz-удельное магнитное напряжение зубцов статора	Fz hz Hz	А м А/м	$22{,}10*10^{-3}Hz$ $11*10^{-3}$
4.9	Индукция в ярме статора $Bя = \dfrac{Фд}{2 * Sя}$	Bя	Тл	$0{,}1315\ E_0$
4.10	Сечение ярма статора $Sя = \left(\dfrac{Dн - Di}{2} - hz\right) * li * Kc$	Sя	м^2	$142{,}5*10^{-6}$

1	2	3	4	5
4.11	Магнитное напряжение ярма статора $F_я = \ell_я * H_я$ $\ell_я = \left(\frac{(D_н - h_я)p}{2p}\right.$ $h_я = \frac{D_н - D_i}{2} - h_z$ Hя- удельное магнитное напряжение ярма статора	Fя $\ell_я$ hя Hя	А м м А/м	$26{,}7*10^{-3}H_я$ $26{,}7*10^{-3}$ $6{,}0*10^{-3}$
	Примечание: удельное магнитное напряжение на участках магнитопровода определяется по кривым намагничивания)			
4.12	Магнитный поток рассеяния полюсных наконечников $Ф_{бn} = F_{11} * G_{бn}$ $F_{11} = F_\delta + F_z + F_я$	Фбn F_{11}	Вб А	$0{,}115*10^{-6} F_{11}$ -
4.13	Магнитный поток в расчетном сечении $Ф_1 = Ф_б + Ф_{бn}$	$Ф_1$	Вб	-
4.14	Инду кция в расчетном сечении S_1 $B_1 = \frac{Ф_1}{S_1}$ $S_1 = \left(\frac{D_p - D_m}{2}\right) * \beta_{pmax}$	B_1 S_1	Тл $м^2$	$\frac{Ф_1}{115*10^{-6}}$ $155*10^{-6}$
4.15	Магнитное напряжение полюса $F_n = 2 * \ell_1 * H_1$ $\ell_1 = \frac{\ell_п}{2 * \cos\beta}$ H_1-удельное магнитное напряжение полюсного наконечника	Fn ℓ_1	А м	$35*10^{-3}H_1$ $17{,}5*10^{-3}$
4.16	Магнитный поток рассеяния изгиба полюсного наконечника $Ф_{бя} = F_{22} * G_{бя}$ F_{22} $F_{11} + F_n$	Фбя	Вб	$0{,}0918*10^{-6} F_{22}$
4.17	Магнитный поток изгиба полюсного наконечника $Ф_2 = Ф_1 + Ф_{бя}$	$Ф_2$	Вб	-
4.18	Индукция изгиба полюсного наконечника $B_{изг.п} = \frac{Ф_2}{S_{изг.п}}$ Площадь сечения по рисунку1.5 $S_{изг.п} = \beta_{pmax} * h_{сб.к}$	Визг.п Sизг.п	Тл $м^2$	$\frac{Ф_2}{171*10^{-6}}$ $171*10^{-6}$

1	2	3	4	5
4.19	Магнитное напряжение изгиба полюсного наконечника Fизг.п=2* ℓ изг.п*Низг.п длина магнитной силовой линии по рис.1.4	Fизг.п ℓ изг.п	А м	$14{,}92*10^{-3}$* Низг.п $7{,}46*10^{-3}$
	ℓ изг.п=$\frac{p*hсб.к}{4}$ Низг.п-удельное магнитное напряжение изгиба полюсного наконечника	Низг.п	А/м	
4.20	Магнитный поток внешнего рассеяния ротора Фбвн= F_{33}*Gбвн F_{33} F_{22}+Fизг.п	Фбвн F_{33}	Вб А	$0{,}0147*10^{-6}$ F_{33} -
4.21	Магнитный поток сборного кольца Ф3= Ф2+ Фбвн	Ф3	Вб	-
4.22	Индукция сборного кольца Всб.к=$\frac{Ф3}{Sсб.к}$ Sсб.к=$\frac{pDвт}{p}hсб.к$	Всб.к Sсб.к	Тл $м^2$	$\frac{Ф3}{194*10^{-6}}$ $194*10^{-6}$
4.23	Магнитное напряжение сборного кольца Fсб.к=2 ℓ сб.к*Нсб.к ℓ сб.к=$\frac{Dm-Dвт}{2}$ Нсб.к-удельное магнитное напряжение сборного кольца	Fсб.к ℓ сб.к Нсб.к	А м А/м	$17*10^{-3}$Нсб.к $8{,}5*10^{-3}$
4.24	Поток рассеяния катушки возбуждения и аксиальный поток рассеяния Фбк+Фба= F_{44}(Gбк+Gба) F_{44}= F_{33}+Fсб.к	Фбк+Фба F_{44}	Вб А	$0{,}005*10^{-6}$ F_{44} -
4.25	Поток втулки $Ф_4$= Фвт= $Ф_3$+Фбк+Фба	$Ф_4$	Вб	-
4.26	Индукция изгиба втулки Визг.вт=$\frac{Ф4}{Sизг.вт}$ Sизг.вт=$\frac{\pi Dвт}{2p}\sqrt{\frac{Dвт^2}{4}+h^2сб.к}$	Визг.вт Sизг.вт	Тл $м^2$	$\frac{Ф4}{221{,}5*10^{-6}}$ $221{,}5*10^{-6}$

1	2	3	4	5
4.27	Магнитное напряжение изгиба втулки Fизг.вт=2 ℓ изг.вт*Низг.вт ℓ изг.вт=$\sqrt{\left(\frac{hсб.к}{2}\right)^2+\left(\frac{Dвт}{6}\right)^2}$ Низг.вт-удельное магнитное напряжение изгиба втулки	Fизг.вт ℓ изг.вт Низг.вт	А м А/м	$16,1*10^{-3}$ Низг.вт $8,05*10^{-3}$
4.28	Индукция стыка втулки с полюсной системой Вст=$\frac{Ф4}{Sст}$ Sст=$\frac{1}{p}*\frac{\pi Dвт^2}{4}$	Вст Sст	Тл $м^2$	- -
4.29	Магнитное напряжение стыка втулки с полюсной системой Fст=2*0,8*Вст* ℓ ст*10^{-6} или F'ст=0,8*Вст* ℓ ст*10^{-6} при изготовлении ротора с полувтулкой, где ℓ ст=0,05*10^{-3} при обычной сборке ℓ 'ст=0,025*10^{-3} при изготовлении способом опрессовки с последующей зачеканкой на валу ℓ ст=0 при напрессовке на втулку	Fст Fст ℓ ст ℓ 'ст	А м м	- - - - 0
4.30	Индукция во втулке Вв т=$\frac{Ф4}{Sвт}$ Sв т=Sст=$\frac{1}{p}*\frac{\pi Dвт^2}{4}$	Вв т Sв т	Тл $м^2$	$\frac{Ф4}{199*10^{-6}}$ $199*10^{-6}$
4.31	Магнитное напряжение втулки Fвт= ℓ вт*Нвт Нвт-удельное напряжение втулки	Fвт Нвт	А А/м	$33,5*10^{-3}$Нвт
4.32	Намагничивающая сила обмотки возбуждения Fв= F_{44}+Fизг.вт+Fст+Fвт	Fв	А	
4.33	Ток обмотки возбуждения Iв=$\frac{Fв}{Wв}$	Iв	А	$\frac{Fв}{480}$

Таблица 4.1-Контрольный вариант расчета характеристики холостого хода

№ П/П	параметр	размерности	пример расчета			
1	2	3	4	5	6	7
1.	E_0	В	3	4	5	5,3
2.	$\Phi_\delta = 37{,}5 \times 10^{-6} E_0$ $B_\delta \times 10^6$		112,5	150	187,5	198,7
3.	$B_\delta = 0{,}141 E_0$	Тл	0,423	0,564	0,705	0,747
4.	$F_\delta = 93{,}8 E_0$	А	281,4	375,2	469	497
5.	$\Phi_t = 22{,}77 \times 10^{-6} E_0$ $B_\delta \times 10^6$		68,31	91,08	113,8	120,7
6.	$B_z = 0{,}16 E_0$	Тл	0,48	0,64	0,8	0,848
7.	H_z	А/м	164	231	318	350
8.	$F_z = 22 \times 10^{-3} H_z$	А	3,6	5,08	7,0	7,7
9.	$B_я = 0{,}1315 E_0$	Тл	0,4	0,526	0,657	0,697
10.	$H_я$	А/м	140	181	239	259
11.	$F_я = 26{,}7 \times 10^{-3} H_я$	А	3,7	4,83	6,38	6,91

1	2		3	4	5	6	7
12.	$F_{11} = F_{\sigma} + F_{z} + F_{я}$		А	289	385,1	482	511,6
13.	$\Phi_{\sigma n} = 0{,}115 \times 10^{-6} F_{11}$	$B_{\delta} \times 10^{6}$		33,2	44,3	55,5	58,8
14.	$\Phi_{1} = \Phi_{\delta} + \Phi_{\sigma n}$	$B_{\delta} \times 10^{6}$		145,7	194,7	243	257,5
15.	$B_{n} = \Phi_{1} / \ 155 \times 10^{-6}$		Тл	0,456	1,25	1,567	1,66
16.	H_{n}		А/м	232	940	2340	5580
17.	$F_{n} = 35 \times 10^{-3} H_{1}$		А	8,12	32,9	81,9	195,3
18.	$F_{22} = F_{11} + F_{n}$		А	297	418	564,3	706,9
19.	$\Phi_{\sigma я} = 0{,}0918 \times 10^{-6} F_{22}$	$B_{\delta} \times 10^{6}$		27,2	38,4	51,8	64,9
20.	$\Phi_{2} = \Phi_{1} + \phi_{\sigma я}$	$B_{\delta} \times 10^{6}$		97,9	232,6	295	322,4
21.	$B_{изг.n} = \Phi_{2} \ 171 \times 10^{-6}$		Тл	0,573	1,36	1,72	1,88
22.	$H_{изг.n}$		А/м	284	1300	7950	17000
23.	$F_{изг.n} = 14{,}92 \times 10^{-3} H_{изг.n}$		А	4,24	19,4	118,6	253,6

1	2	3	4	5	6	7
24.	$F_{33} = F_{22} + F_{изг.п}$	А	301	437,4	682,9	960,5
25.	$\Phi_{\sigma вн} = 0{,}0147 \times 10^{-6} F_{33}$ $B_{\delta} \times 10^{6}$		4,42	6,43	10,03	14,1
26.	$\Phi_{3} = \Phi_{2} + \Phi_{\sigma вн}$ $B_{\delta} \times 10^{6}$		102,3	239	305	336,5
27.	$B_{сб.k} = \Phi_{3} / 194 \times 10^{-6}$	Тл	0,527	1,232	1,572	1,734
28.	$H_{сб.k}$	А/м	264	904	3450	8500
29.	$F_{сб.k} = 17 \times 10^{-3} H_{сб.k}$	А	4,5	15,36	58,6	144,5
30.	$F_{44} = F_{33} + F_{сб.k}$	А	305,6	453	741	1105,1
31.	$\Phi_{\delta к} = 0{,}005 \times 10^{-6} F_{44}$ $B_{\delta} \times 10^{6}$		1,53	2,26	3,70	5,52
32.	$\Phi_{4} = \Phi_{3} + (\Phi_{\sigma к} + \Phi_{\sigma a})$ $B_{\delta} \times 10^{6}$		103,8	241,2	308,7	342
33.	$B_{изг.вт} = \Phi_{4} / 221{,}5 \times 10^{-6}$	Тл	0,468	1,09	1,393	1,544
34.	$H_{вт}$	А/м	236	680	1462	2950
35.	$F_{изг.вт} = 16{,}1 \times 10^{-3} H_{изг.вт}$	А	3,8	10,95	46,0	47,5

1	2	3	4	5	6	7
36.	$B_{ст} = 0$	Тл	--	--	--	--
37.	$F_{ст} = 0$	А	--	--	--	--
38.	$B_{вт} = Ф_4 / 199 \times 10^{-6}$	Тл	0,522	1,212	1,55	1,72
39.	$H_{вт}$	А/м	261	864	3050	7950
40.	$F_{вт} = 33,5 \times 10^{-3} H_{вт}$	А	8,74	28,9	102,2	266,3
41.	$F_{вт} = F_{44} + F_{изг.вт} + F_{вт}$	А	318,2	492,6	843,7	1418,8
42.	$I_B = F_B / 480$	А	0,662	1,026	1,76	2,95

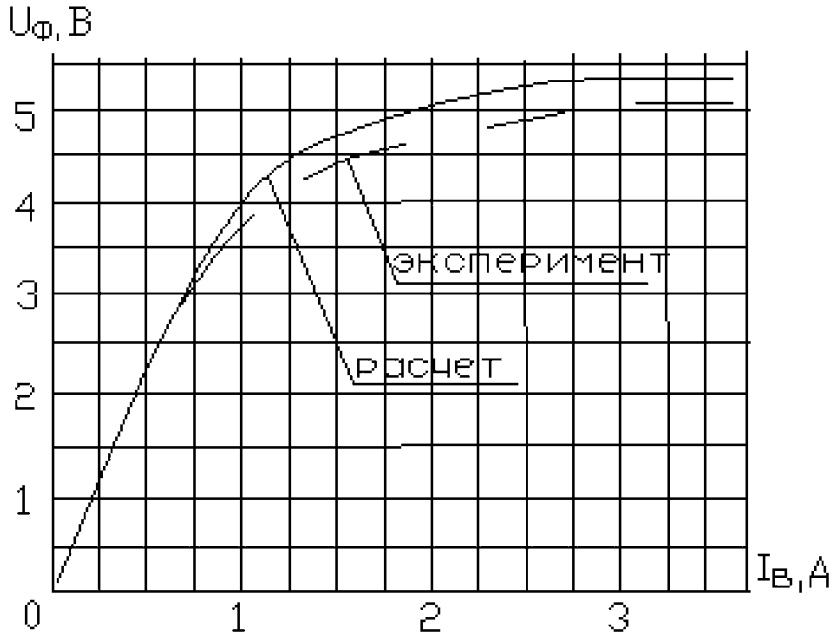


Рисунок. 4.1. Характеристика холостого хода по примеру расчета

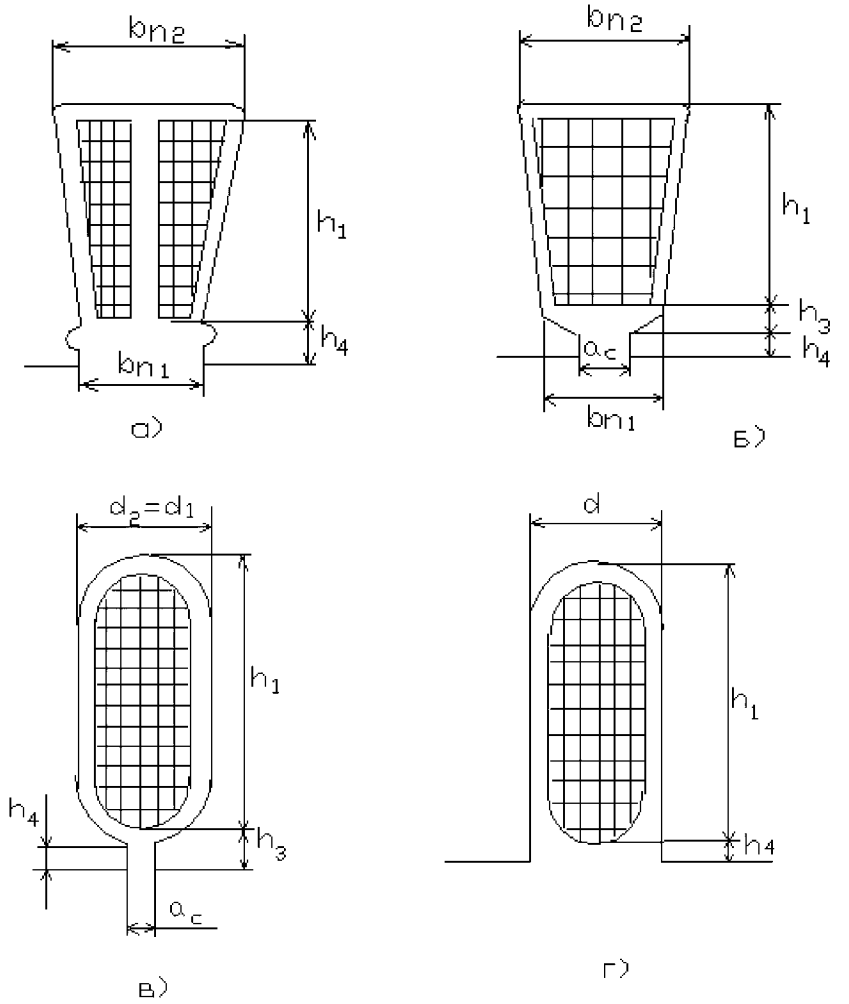


Рисунок 5.1- Формы пазов статора

5. Расчет токоскоростной характеристики генератора
Подготовка исходных данных расчета

N	Данные расчета	Обозначения	Размерность	Прим. расч.
1	2	3	4	5
5.1	Активное сопротивление обмотки статора в холодном состоянии. $R_{ф20}=\frac{\rho * \ell_{10} * W_ф}{q_ф}$ (в схеме треугольником $R_ф=R_л$) ρ=0,0175 $\ell_{10}=2(\ell_i+\ell_л)$ – средняя длина катушки статора $\ell_л$- длина лобовой части для y=1 $\ell_л=\frac{\pi(b_z+\frac{b_{п1}}{2})}{2}$ для y=2,3 и т.д. $\ell_л=\frac{p y t_1}{2}$ y-шаг обмотки по пазам	$R_{ф20}$ ρ ℓ_{10} $\ell_л$	Ом $\frac{Ом * мм^2}{м}$ м м	0,115 $85,8*10^{-3}$ $30,4*10^{-3}$
5.2	Активное сопротивление обмотки статора в горячем состоянии. $R_{ф75}=1,24\ R_{ф20}$	$R_{ф75}$	Ом	0,142
5.3	Коэффициент проводимости лобовых частей: двухслойная петлевая и волновая обмотка $\lambda_л=0,34\frac{q}{\ell_i}(\ell_л-0,64\beta\tau)$ однослойная двухплоскостная обмотка $\lambda_л=0,67\frac{q}{\ell_i}(\ell_л-0,64\tau)$ однослойная трехплоскостная обмотка $\lambda_л=0,47\frac{q}{\ell_i}(\ell_л-0,64\tau)$	$\lambda_л$	-	0,483
5.4	Коэффициент проводимости пазового рассеяния: Рис.2.1а $\lambda_п=\left[\frac{2h_1}{3(b_{п1}+b_{п2})}+\frac{h_н}{b_{п1}}\right]\frac{2}{3}$ Рис.2.1б $\lambda_л=\frac{2h_1}{3(b_{п1}+b_{п2})}+\frac{2h_3}{a_c+b_{п1}}+\frac{h_4}{a_c}$ Рис.2.1в,г $\lambda_л=0,62+\frac{2h_1}{3(d_1+d_2)}+\frac{h_4}{a_c}$ h_1	$\lambda_п$ h_1	- мм	1,73 9

1	2	3	4	5
	h3 h4 $\beta_{п1}=\frac{pDi}{z}-вz$ $\beta_{п2}=\frac{pDя}{z}-вz$ ac	h3 h4 $\beta_{п1}$ $\beta_{п2}$ ac	мм мм мм мм мм	0,5 1,5 3,7 5,4 2,0
5.5	Синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси,приведенное к nx $Ad=\frac{nx\mu 0*\ell i W\phi^2}{30}\left[\frac{2p(\lambda п+\lambda л)}{q}+\right.$ $\left.+\frac{mDiKоб_1^2(Kq+Kod\overline{\chi}d)}{\delta Kб*p*K\mu}\right]$ Где Kq-коэффицент дифференциального рассеяния $Kq=\frac{1}{Kоб^2}\sum_{\gamma>1}\frac{Kоб\gamma^2}{\gamma^2}$ Kад -определяется по рисунку.П.3.2 $\overline{\chi}'d$- определяется по рисунку.П.3.3 $K\mu$ - коэффициент насыщения магнитной цепи Определяется отношением намагничивающей силы. обмотки возбуждения при расчетном токе возбуждения Iв (п.2.4) к намагничивающей силе рабочего воздушного зазора при том же токе возбуждения: $K\mu=\frac{Fв}{Fб}$ где Fв = Wв* Iв , а Fб- определяется в п.4.4.в соответствии с расчетным током возбуждения по п.4.34	Ad Kq Kад $\overline{\chi}'d$ $K\mu$	Ом - - - -	0,1275 0,096 0,85 0,95 2,45

Расчет характеристики

N	Данные расчета	Обозначения	Разм.	Прим. расч.
1	**2**	**3**	**4**	**5**
	Параметры расчета			
5.6	Фазовое напряжение при холостом ходе, соответствующее расчетному режиму работы генератора: а) при постороннем возбуждении в холодном состоянии Ud=14 В б) при самовозбуждении в нагретом состоянии Ud=14 В в) при самовозбуждении в нагретом состоянии с и регулятором напряженияUd=13 В	Uфх	В	6,56
5.7	Фазовое напряжение при холостом ходе при nисх=1000 мин$^{-1}$.Определяется по характеристике холостого хода при токе возбуждения, соответствующем режиму работы генератора: а) без регулятора напряжения в холодном состоянии при Iвх б) без регулятора напряжения в нагретом состоянии при Iвг в) в комплекте с регулятором напряжения - в нагретом состоянии при Iвг	Uф$_0$исх	В	5,3
5.9	Начальная частота вращения при холостом ходе, соответствующая приведенному выше Uф$_0$исх: $n_x = n_{исх}\frac{U_{фх}}{U_{ф_0 исх}}$ а) б) в)	nx	мин$^{-1}$	1240
5.10	Токоскоростная характеристика $n = n_x \frac{I_ф R_ф + U_ф}{\sqrt{U_{фх}^2 - (I_ф A_d)^2}}$ Где Iф=IdKIв Id = Iн+Iв KIв- коэффициент выпрямления по току, определяется по рисунку.П.4.1 Uф=d(Id) – определяется по рисункам.П.4.2-П.4.9	n Iф Id Uф	мин$^{-1}$ А А - В	При самовоз-буждении в горячем состоянии
5.11	Максимальный ток генератора $I_{фmax} = \frac{U_{фх}}{A_d}$	Iфmax	А	30,3
	Idmax= Iфmax/KIв	Idmax	А	41,5

1	2	3	4	5
	Примечание: В формулах 2.4.6;5.5-5.7.;5.9. значения $I_в$, $U_{фх}$, $U_{ф0исх}$, $n_х$, $K\mu$, подставляются соответственно режиму работы, при котором рассчитывается ТСХ генератора. Ниже приведен расчет токоскоростной характеристики для случая горячего состояния, самовозбуждения ,без регулятора напряжения			

3.1 Примеры расчета токоскоростных характеристик:
генератора при самовозбуждении в горячем состоянии

	$I_н$	0	10	20	30	35
	Id/Idmax	-	0,31	0,553	0,795	0,916
	$K_{Iв}$	-	0,774	0,752	0,738	0,733
	$U_ф$	-	6,97	7,08	7,1	7,11
	$n_г$	1240	1680	2180	3320	5180

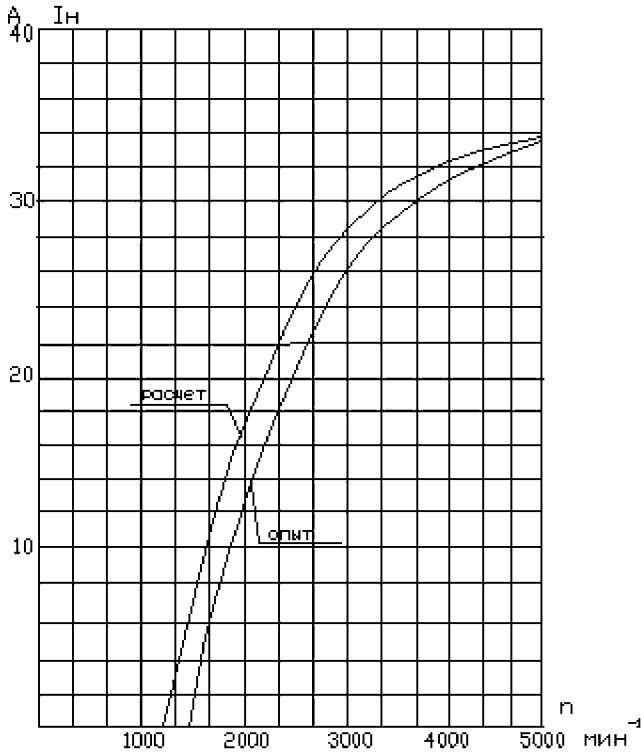


Рисунок.5.2- Токоскоростная характеристика генератора, рассчитанная в примере расчета.

Приложение 1

Варианты заданий на выполнение самостоятельной работы по поверочный расчет генератора

Таблица П.1.1- Варианты 1-17 заданий на поверочный расчет генератора

Вар/Парам	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ud,В	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	28	28	14	14	14
Iмакс,А	42	50	55	57	62,5	30	115	100	57	52	40	57	150	19	51	37	183
Iр,А	30	35	35	32	36	20	75	70	40	32	24	38	100	12,6	34	24,7	122
nxx,мин$^{-1}$	1150	1250	1100	1280	1240	1300	950	840	995	1200	800	1000	1500	1200	1055	1175	1110
nр, мин$^{-1}$	2500	2400	2000	2045	1900	2600	1800	1600	2110	2000	1400	2150	3000	1950	2060	2340	2130
ОЯ	Y	YY	YY	YY	YY	Y	Δ Δ	YY	YY	Y	Y	YY	YY	Y	Δ	Y	Δ
Z_1	36	36	36	36	36	36	36	36	36	18	18	36	36	24	36	36	48
P	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	6	6	8
Di,10^{-3}м	87	87	89,3	97,2	97,2	7,4	112,4	112	97,2	97,2	97,2	97,2	140	88,8	90,3	83,4	126,5
ℓi,10^{-3}м	22	25	25	19	19	25	36	36	26,6	26,6	26,6	26,5	50	35	24,5	18,5	37,5
βpmax,10^{-3}м	23,6	23,6	25	28	28	18	31	31	26	26	28	24	36	31	23,5	23	25
βpмин,10^{-3}м	10,5	10,5	10,5	14	14	8	11	11	11	11	10	8	14	15	5	7,5	5,5
dосгол,мм	1,25	0,95	0,95	1,12	1,12	1,08	1,18	1,4	1,12	1,32	1,32	1,08	1,81	1,16	1,16	1,25	1,5
dовгол, мм	0,69	0,71	0,8	0,75	0,8	0,64	0,95	0,9	0,8	0,8	0,75	0,8	0,69	0,56	0,53	0,44	0,74
Wф	60	54	54	48	48	60	57	39	54	54	72	54	33	88	90	60	40
Sпаза,мм^2	42,5	42,5	42,5	60	60	33	77	77	60	97	97	59	117	78	48	51	33
Rовхол	4,3	3,7	2,6	3,7	2,7	3,77	3,07	3,2	3,7	3,7	3,7	3,9	11,6	19	4,56	6,7	4,15
δ ,10^{-3}м	0,35	0,35	0,5	0,35	0,35	0,35	0,35	0,4	0,35	0,35	0,35	0,35	0,5	0,4	0,38	0,3	0,5
β	18°	18°	14°	14°	14°	14°	18°	18°	10°	10°	10°	10°	18°	18°	18°	18°	14°
β_1	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°

Таблица П.1.1 (продолжение)

Вар/Парам	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$\ell_{пц}$, 10^{-3}м	3,0	3,0	3,1	8,4	8,4	6,4	12	12	8,4	8,4	8,4	8,4	16	2	7	6	5
$\ell_{я}$, 10^{-3}м	9,0	9,0	9,2	5,9	5,9	6,5	6,0	6,0	5,9	5,9	5,9	5,9	5,0	2,5	5	3	5
$\ell_{п}$, 10^{-3}м	50	50	50	43	43	52,5	65	65	51,3	51,6	50,6	51	86	54	47	46,75	57
$\ell_{вт}$, 10^{-3}м	31	31	28	23,5	23,5	33,5	41	41	31	31	31	31	44	32	27	26,5	30
$h_{сбк}$, 10^{-3}м	10,5	10,5	11	9,8	9,8	9,5	12,5	12,5	10,3	10,3	9,8	10	21	11	10	10	133
$D_{вт}$, 10^{-3}м	43	43	43	46	46	39	58	58	44	44	44	44,5	76	42	47	40,5	76,0
$D_{к}$, 10^{-3}м	65	65	68	72	76	54,3	82	82	73	73	75	72	99	68	68	60	110
D_{m}, 10^{-3}м	66	66	69,5	76,5	76,5	56	85,3	83	74,5	74,5	76,5	78	99	69	70	62	114
α_{c}, 10^{-3}м	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2	2,9	2,9	2,7	5,5	5,5	2,6	3	3,5	2	2	3
b_{z}, 10^{-3}м	3,5	3,5	3,5	4	4	3	5,1	5,1	4	8,2	8,2	3,5	6	6	4	4	4
h_{z}, 10^{-3}м	11	11	11	12,4	12,4	11	13	13	12,4	11,3	11,3	11,4	16	13	12	11,5	13
$W_{в}$	500	460	420	470	405	400	533	511	520	550	510	550	915	1572	323	1180	574

Таблица П.1.2- Варианты 18-34 заданий на поверочный расчет генератора

Вар/Парам	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Ud,В	14	14	14	28	14	14	14	14	28	14	14	14	14	14	14	14	14
$I_{макс}$,А	47	69	58	36	67,5	42	66	38	62,5	90	58	66,5	56,5	47	71	55	50,5
$I_{р}$,А	31,4	46	38,6	24	45	28	44	25,4	41,7	60	39	44	37,7	31	47	36,7	34
$n_{хх}$,мин$^{-1}$	950	1040	1080	1100	1000	880	1020	1050	1150	1140	960	1060	945	948	1100	980	970
$n_{р}$, мин$^{-1}$	2100	2400	2300	2200	1920	2000	2180	2160	2550	2520	1980	2160	1990	2020	2080	2030	2040
ОЯ	Y	Δ	Δ	Y	Δ	Y	Δ	Y	Δ	Δ	⅄	⅄	⅄	Δ	Δ	Δ	⅄
Z_1	36	36	36	36	36	42	36	24	36	36	36	36	36	36	36	36	36

Таблица П.1.2 (продолжение)

Вар/Парам	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
P	6	6	6	6	6	7	6	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Di,10^{-3}м	89,4	98	89	89,5	88,9	105	95,3	89	100	95,5	89,6	89,6	90	89	88,9	90	92
ℓi,10^{-3}м	25	26	22	25	26	20	29,5	25,5	29	29	24	27	25,5	20	26	25	24
βрмакс,10^{-3}м	22	30	24	23,5	24,7	23,5	25,5	31	28	25	22,5	22	26,5	24,5	26	26	25,5
βрмин,10^{-3}м	9	10	7	8	6,7	8,5	6,5	14	7	7	9	9	7	6,5	6	7	10
dосгол,мм	1,25	1,2	1,15	1,1	1,15	1,2	1,2	1,25	1,15	1,46	1,43	1,57	1,1	0,89	1,2	1,11	1,4
dовгол, мм	0,72	0,74	0,62	0,66	0,58	0,78	0,7	0,67	0,52	0,74	0,74	0,75	0,66	0,63	0,69	0,66	0,73
Wф	60	84	96	90	78	77	78	56	84	54	54	48	50	102	72	90	60
Sпаза,$мм^2$	45	56	59	58	50	48	49	59	49	52	46,6	59,5	47,5	36,5	42,4	53,7	55
Rовхол	4,05	8,18	3,98	9,5	4,13	2,7	3,23	4,54	9,6	3,4	2,95	2,85	3,6	5,15	3,9	3,74	3,94
δ ,10^{-3}м	0,35	0,35	0,5	0,25	0,28	0,44	0,44	0,43	0,3	0,5	0,4	0,4	0,3	0,37	0,32	0,27	0,45
β	18°	18°	18°	18°	18°	20°	14°	18°	17	18	18	18	14	18	17	18	18
β_1	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°	45	45	45	45	45	45	45	45	45
ℓпц, 10^{-3}м	5	7	8,4	5	7	12	5	3	3	5	6	6	3	5	3	6	3
ℓя, 10^{-3}м	4	7	6	9	6	6	6	8	10	7,5	6	6	9	6	9	5	9
ℓп, 10^{-3}м	50,5	53	48,5	46,5	50,9	31,2	53,5	33,75	55	54	46	49	47	50	50	47	47
ℓвт, 10^{-3}м	27,5	32,6	44	25,5	27,5	31,8	31	34	29	30	25	28	27	27,5	27,5	27	27
hсбк, 10^{-3}м	11	10	9,5	10,5	11,5	9,7	11,5	10	13	12	10,5	10,5	10	11,4	11,4	10	10
Dвт, 10^{-3}м	47	46,3	49,5	46	47	48	46	45	52	47,5	46,5	46,5	47	47	47	47	44
Dк, 10^{-3}м	68	66	71	64	65	70	66	65	71	70	68	68	70	65	65	70	72
Dm, 10^{-3}м	70	69	73,5	69	70	72	69	68	73	71	68,5	68,5	71	65,5	65,5	71	73
αc, 10^{-3}м	2,2	2,5	2	2	2	2,5	2,5	2,5	2,3	2,6	2,5	2,5	2,2	2,2	2,3	2,1	2,5
bz, 10^{-3}м	4,3	4	4	4	4,5	3,5	4,3	6	4,3	4	3,7	3,7	4	4,1	4,1	4	3,5

Таблица П.1.2 (продолжение)

Вар/Парам	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
hz, 10^{-3}м	12	12	13	12,5	13,7	10	12,5	13	12,5	11,7	12,2	12,2	16	19	19	13	15
Wв	530	1160	370	1100	356	405	408	500	560	430	375	410	415	445	450	430	550

Таблица П.1.3- Варианты 35-51 заданий на поверочный расчет генератора

Вар/Парам	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
Ud,В	14	14	28	28	14	14	14	28	14	14	14	14	28	28	14	14	14
Ida,А	90	66,5	40	75	35	35	50	28	64	55	67	74	34	65,5	71,5	72	58
Idp,А	60	44	27	50	24	24	35	20	45	35	45	49	22,7	43,7	48	48	39
nxx,мин$^{-1}$	1140	1060	1200	1250	1200	1200	1250	1000	1150	1100	1045	1010	1115	1550	1035	1050	960
nр, мин$^{-1}$	2520	2160	2000	2200	2400	2400	2350	2200	2550	2000	2130	1980	2100	2680	2100	2060	1980
ОЯ	Y	Y	Δ	YY	YY	Y	Y	Y	YY	YY	Y	Y	Y	Δ	Δ	Δ	Y
Z_1	36	36	18	18	36	18	18	18	36	36	36	36	36	36	36	36	36
P	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Di,10^{-3}м	95,5	89,6	112	132,6	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2	89,3	84,05	98,15	89,95	100	97,6	94	89,6
ℓi,10^{-3}м	29	27	35	54	42	25,8	25,8	25,8	25	25	26,5	26	23,8	27,7	26	30	24
βрмакс,10^{-3}м	25	22	29	37,5	30	30	30	30	27,5	25	23,5	31	23	28	31	27	22,5
βрмин,10^{-3}м	7	9	8	8,2	10	10	10	10	6,5	10,5	9,5	12	8	8	13	6	9
dосгол,мм	1,46	1,57	1,25	1,7	1,06	1,32	1,56	1,18	1,06	0,95	1,6	1,13	1,14	1,16	1,23	1,35	1,43
dовгол, мм	0,74	0,75	0,6	0,93	0,75	0,8	0,8	0,8	0,93	0,8	0,67	0,93	0,42	0,45	0,79	0,69	0,74
Wф	54	48	132	48	54	78	60	120	54	51	48	84	90	84	84	72	54
Sпаза,мм^2	51,9	53,4	170	180	53	92	92	92	53	42,5	55,4	43,8	47,8	44,8	59,4	57,2	49,8
Rов,Ом	3,4	2,85	16,7	3,7	4,33	3,7	3,7	3,7	2,32	2,5	2,8	2,3	12,2	10,2	3,4	3,69	2,95
δ ,10^{-3}м	0,5	0,4	0,5	0,3	0,35	0,55	0,35	0,35	0,35	0,35	0,2	0,39	0,42	0,32	0,2	0,27	0,4
β	18	18	18	18	18	18	18	18	18	14	17	18	18	18	18	17	18

Таблица П.1.3 (продолжение)

Вар/Парам	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
β_1	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
$\ell_{пц}$, 10^{-3}м	5	6	7	3	6	4	4	4	3	3,1	4	3	5	7	3	5	6
$\ell_{я}$, 10^{-3}м	7,5	6	7	6	6	6	6	6	9	9,2	5	9	6,5	7	4	5	6
$\ell_{п}$, 10^{-3}м	54	49	75	76	61	47	47	47	54	50	48	53	47	55	53	61	46
$\ell_{вт}$, 10^{-3}м	30	28	41,2	42	41	28	28	28	32	28	28	33	27	29	33	35	25
$h_{сбк}$, 10^{-3}м	12	10,5	17	17	10	9,5	9,5	9,5	11	11	10	10	10	13	10	13	10,5
$D_{вт}$, 10^{-3}м	47,5	46,5	55,2	62	48	46	46	46	46	43	46	50	47	52	47	49	46,5
$D_{к}$, 10^{-3}м	70	68	82	99	76	77	77	77	77	68	71	77	71	74	77	71	68
D_{m}, 10^{-3}м	71	68,5	83	100	77	78	78	78	78	69,5	72,2	78	73	75	78	72	68,5
α_{c}, 10^{-3}м	2,6	2,5	10,2	9,9	3,7	3,7	3,7	3,7	2,4	2,7	2,2	2,5	2	2,3	2,5	2,3	2,5
b_{z}, 10^{-3}м	4	3,7	9,2	13,2	8,2	8,2	8,2	8,2	3,5	3,5	4,5	3,7	3,5	4,45	3,7	4	3,7
h_{z}, 10^{-3}м	11,7	12,2	13	12	12	12	12	12	12,5	11	10	11	13,3	13	12,7	13,5	12,2
$W_{в}$	430	410	1230	550	580	535	550	550	440	420	345	400	720	590	460	440	375

Приложение 2

Зависимости используемые при расчете магнитных проводимостей рассеяния ротора генератора.

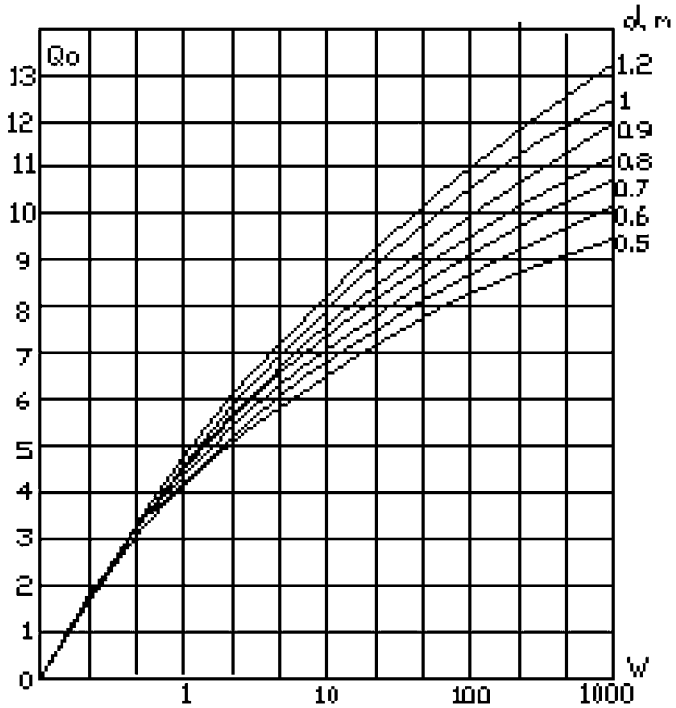


Рисунок. П. 2.1-. Семейство зависимостей $Q_0(W, б_m)$ где $б_m$ максимальный коэффициент полюсного перекрытия.

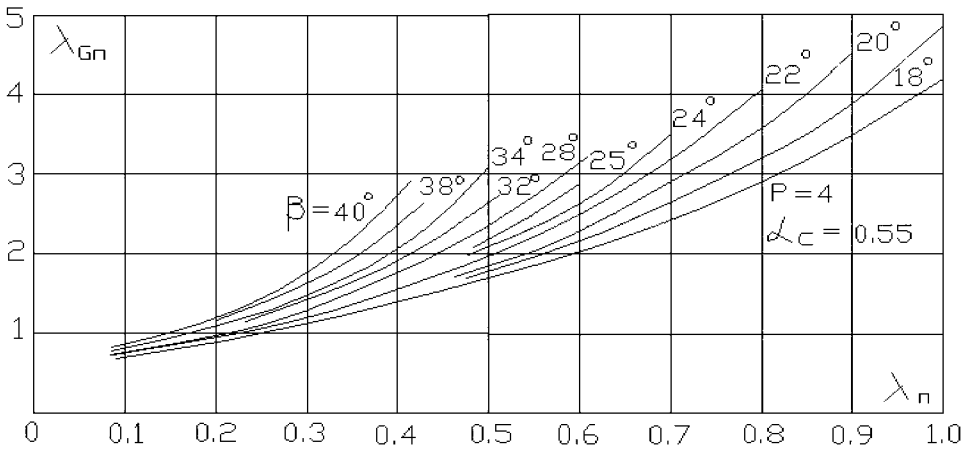


Рисунок П.- 2.2. Семейство зависимостей удельной магнитной проводимости междуполюсного рассеяния $л_{уп} = f(л_п, в, б_c, p)$ при p=4, $б_c$ =0.55

$л_П$ - относительная длина полюса, в - угол скоса полюсов, $б_c$ - коэффициент полюсного перекрытия, р – число пар полюсов.

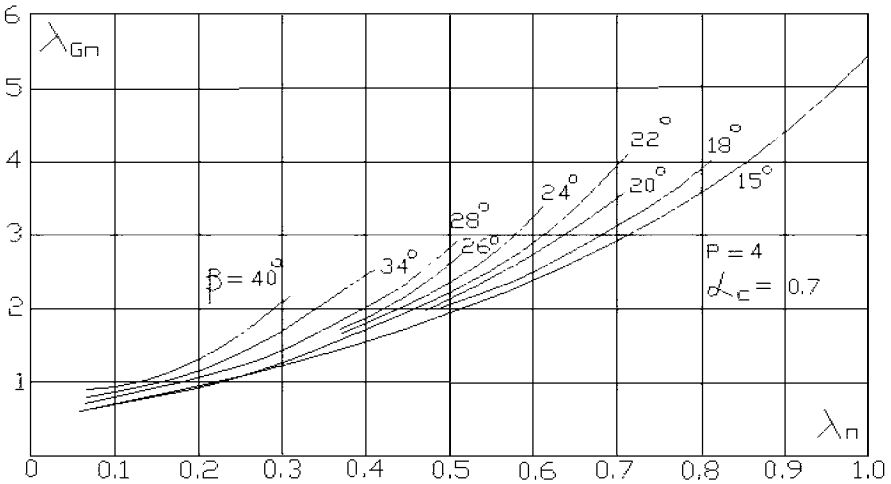


Рисунок П.2.3.- $л_{уп} = f(л_п, в, б_c, р)$ при р=4, $б_c$ =0.7

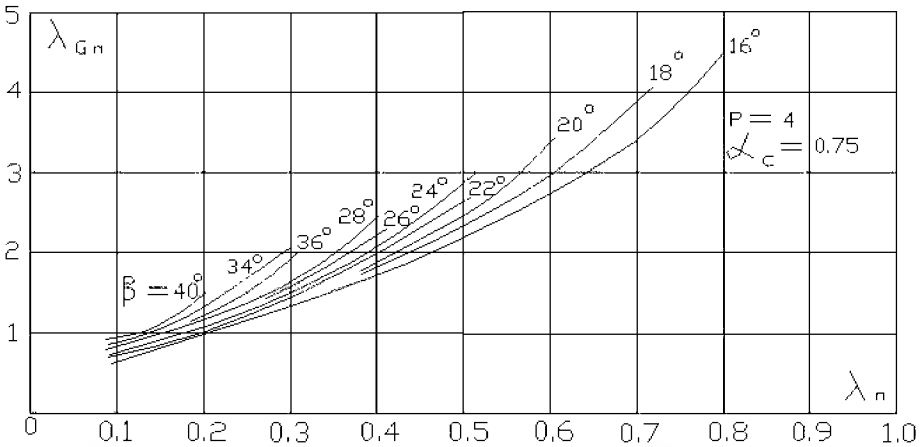


Рисунок П.2.4- $л_{уп} = f(л_п, в, б_c, р)$ при р=4, $б_c$ =0.75

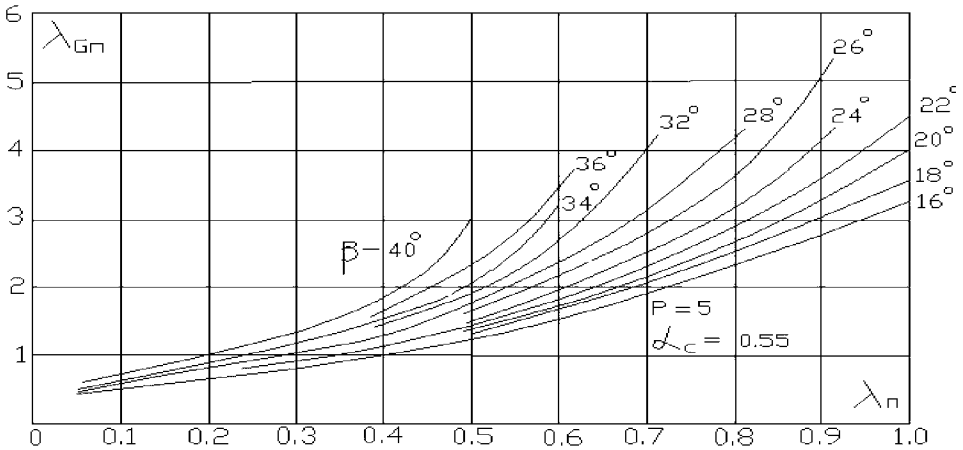


Рисунок П.2.5- $л_{уп} = f(л_п, в, б_c, р)$ при р=5, $б_c$ =0.55

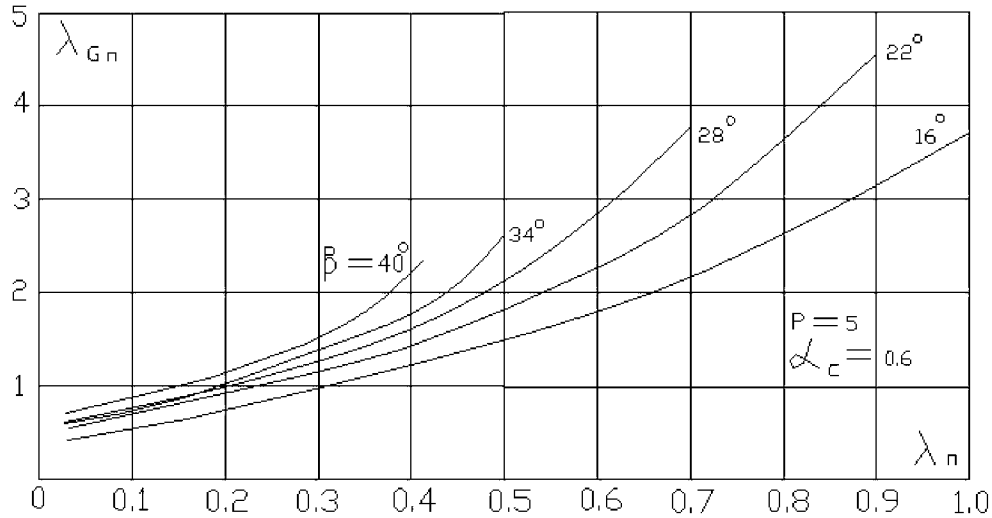


Рисунок П.2.6- $л_{уп} = f(л_п, в, б_с, р)$ при р=5, $б_с$=0.6

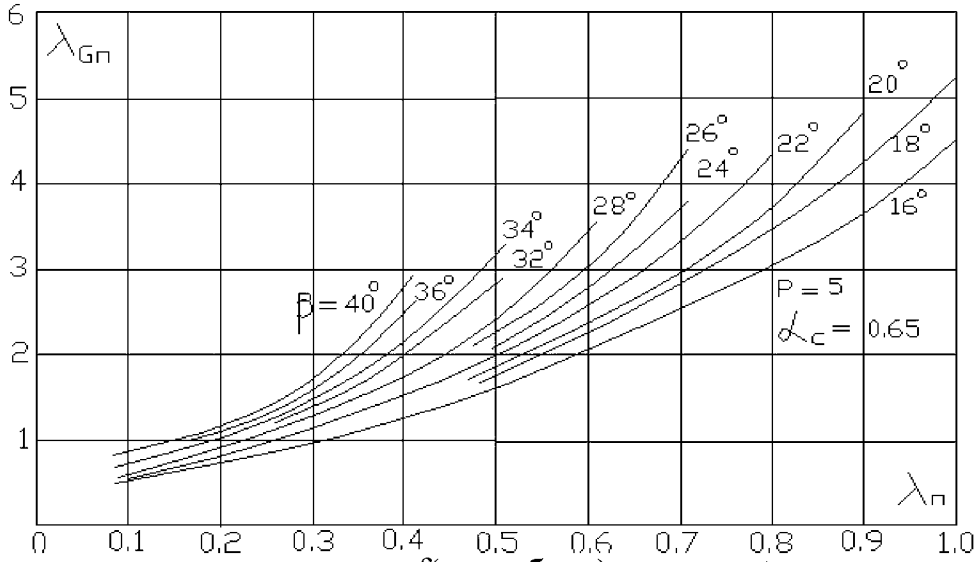


Рисунок П.2.7. - $л_{уп} = f(л_п, в, б_с, р)$ при р=5, $б_с$=0.65

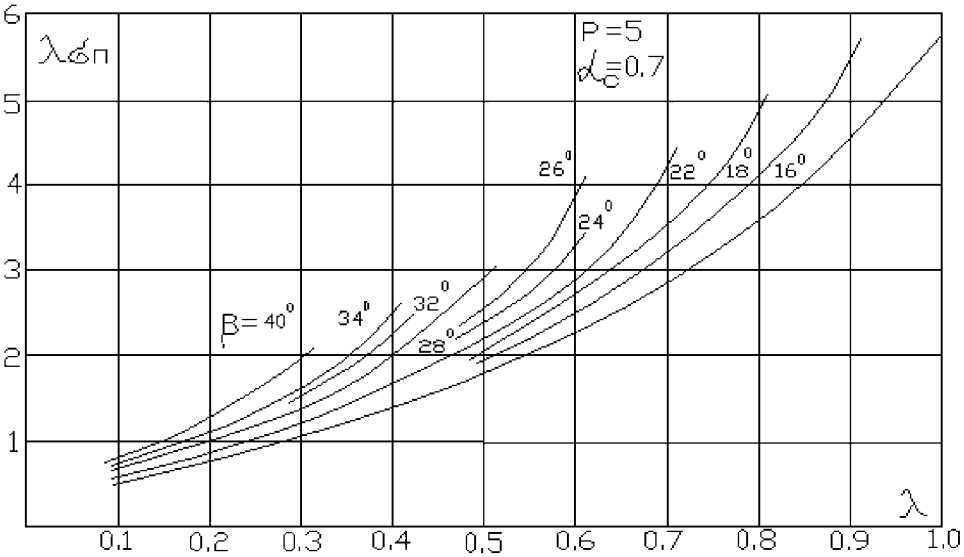


Рисунок П.2.8. - $л_{уп} = f(л_п, в, б_с, р)$ при р=5, $б_с$=0.7

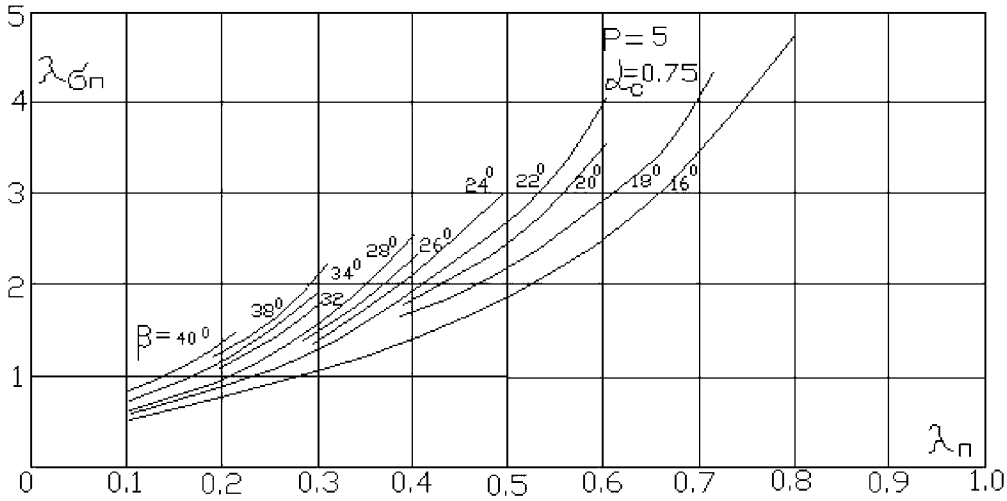


Рисунок П.2.9 - $л_{уп} = f(л_п, в, б_с, р)$ при р=5, $б_с$ =0.75

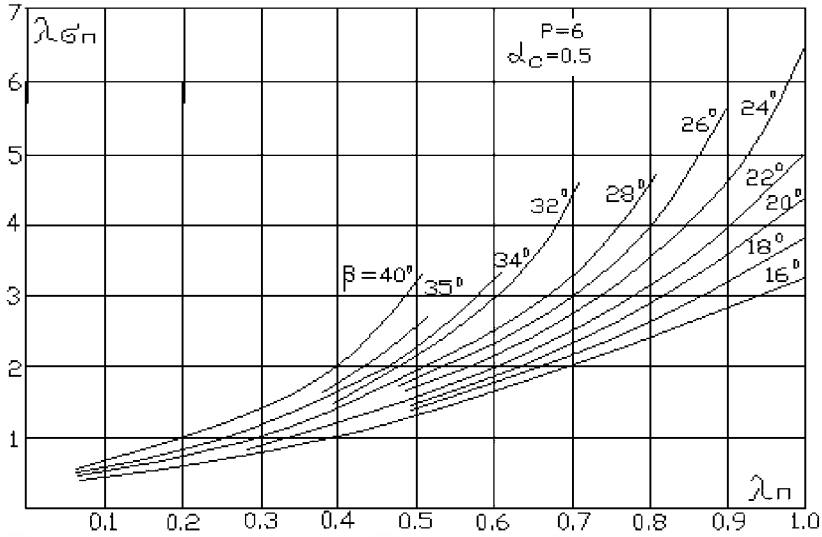


Рисунок П.2.10. - $л_{уп} = f(л_п, в, б_с, р)$ при р=6, $б_с$ =0.5

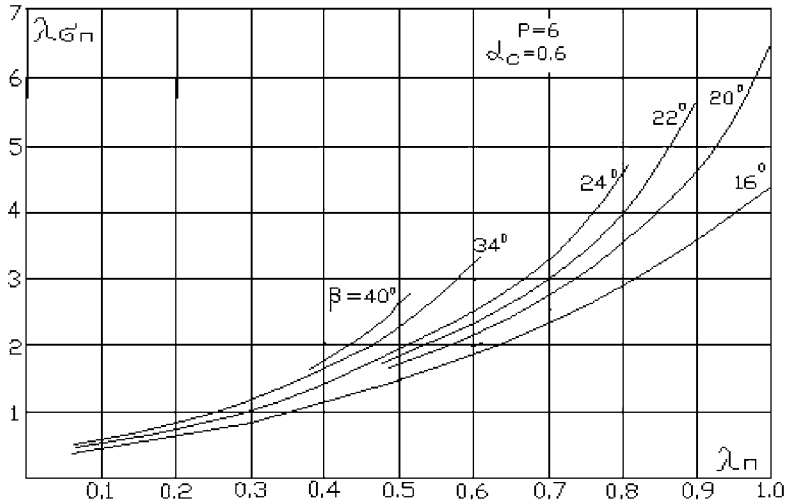


Рисунок П.2.11. - $л_{уп} = f(л_п, в, б_с, р)$ при р=6, $б_с$ =0.6

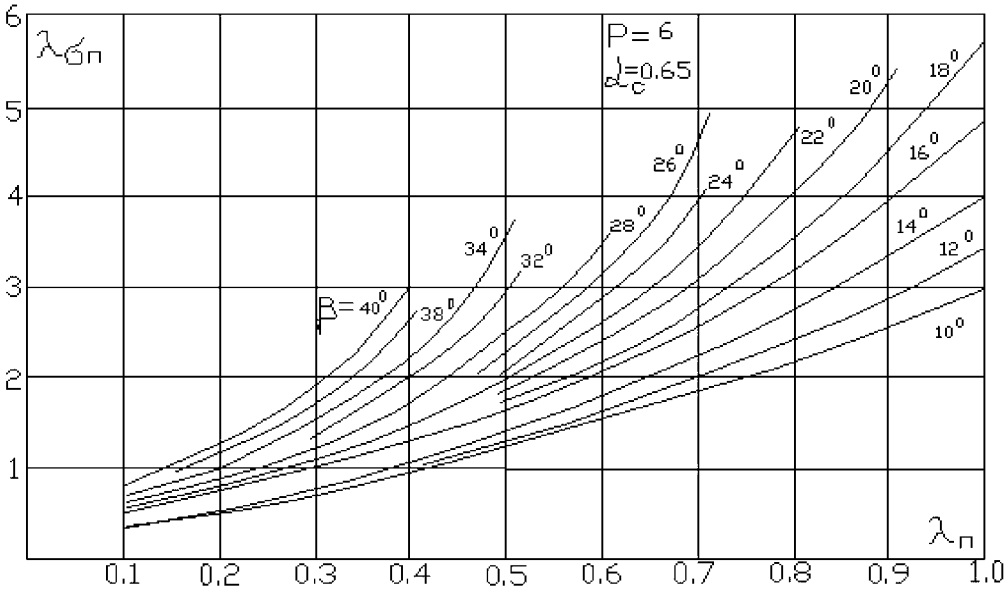


Рисунок П.2.12. - $л_{уп} = f(л_п, в, б_с, р)$ при р=6, $б_с$ =0.65

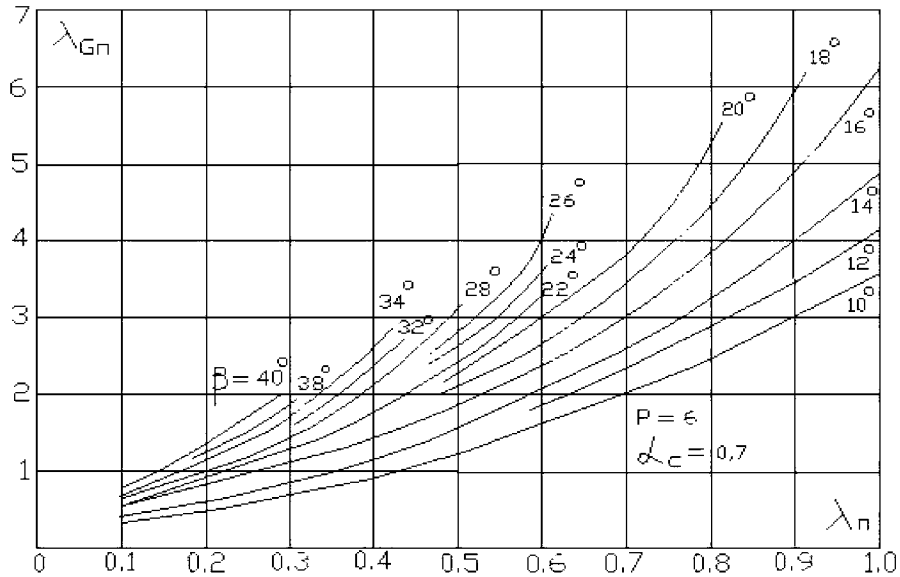


Рисунок П.2.13. - $л_{уп} = f(л_п, в, б_с, р)$ при р=6, $б_с$ =0.7

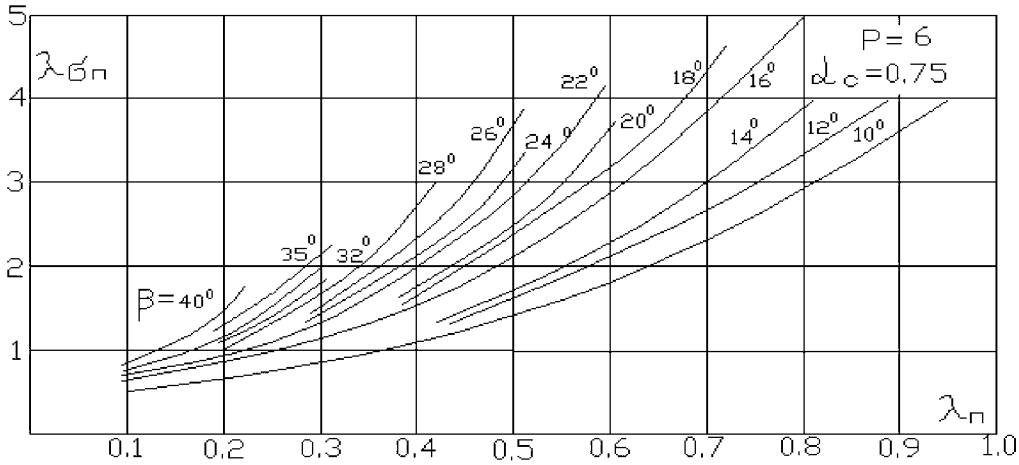


Рисунок П.2.14. - $л_{уп} = f(л_п, в, б_с, р)$ при р=6, $б_с$ =0.75

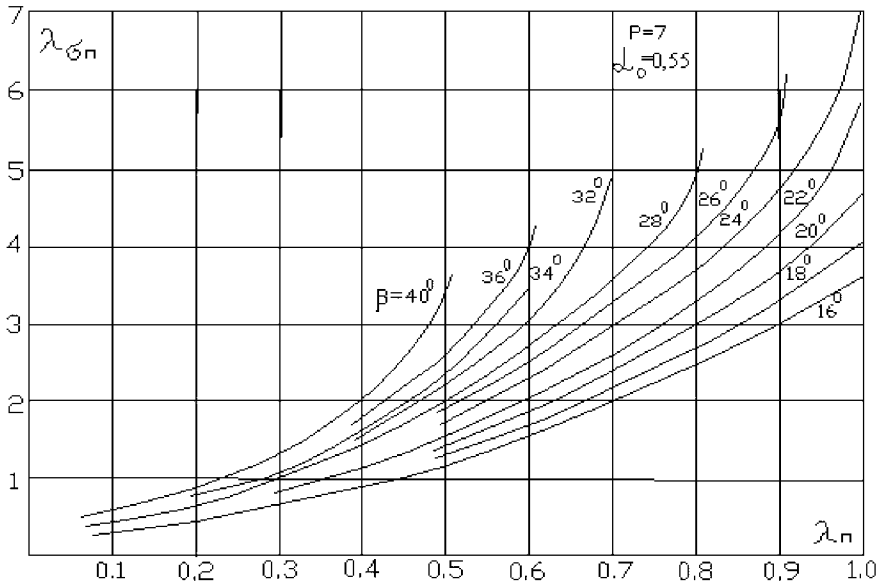


Рисунок П.2.15. - $л_{vn} = f(л_n, в, б_c, p)$ при p=7, $б_c$ =0.55

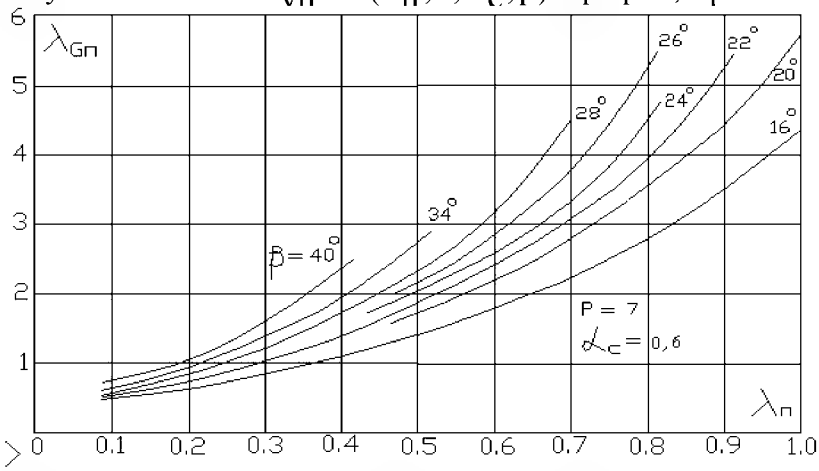


Рисунок П.2.16. - $л_{yn} = f(л_n, в, б_c, p)$ при p=7, $б_c$ =0.6

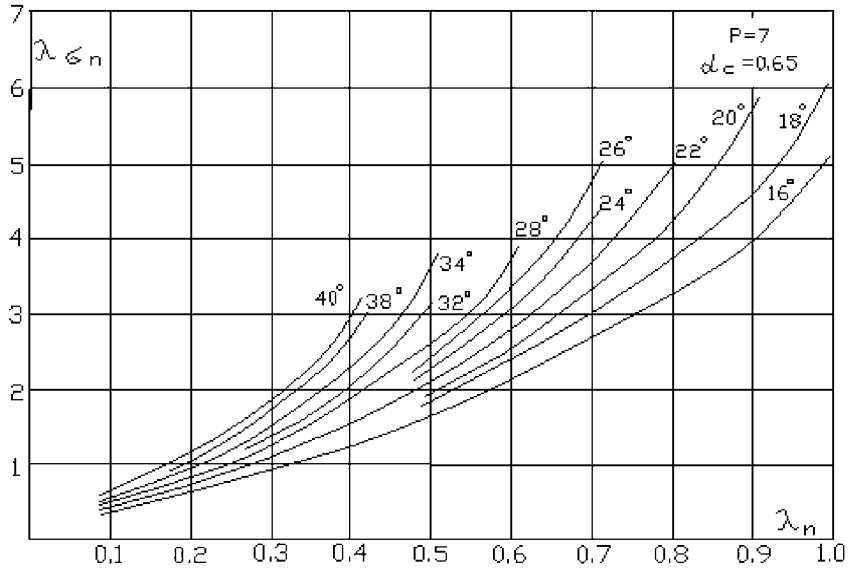


Рисунок П.2.17. - $л_{yn} = f(л_n, в, б_c, p)$ при p=7, $б_c$ =0.65

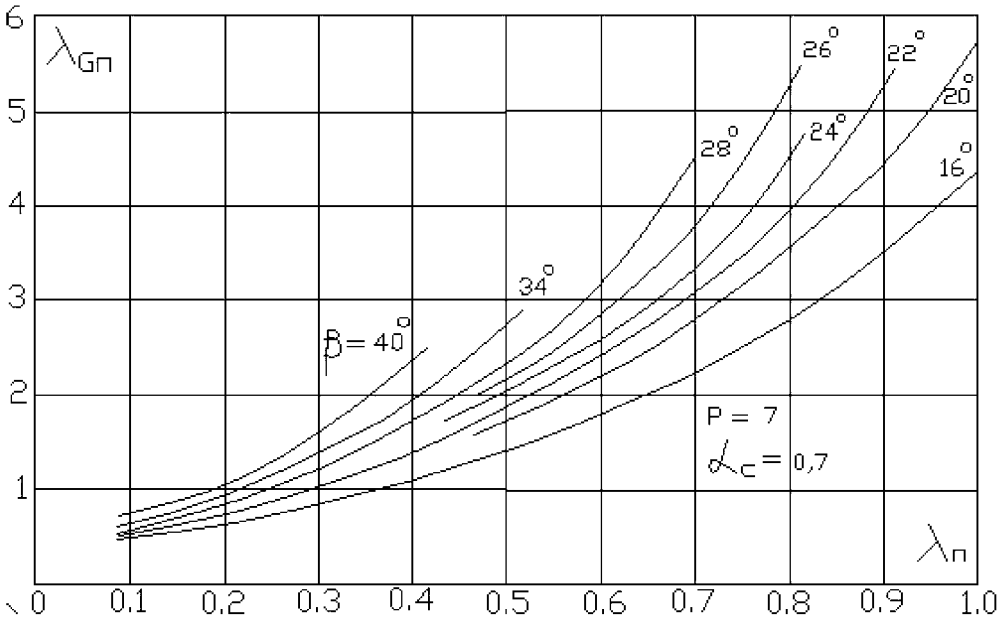


Рисунок П.2.18. - $л_{уп} = f(л_п, в, б_с, р)$ при р=7, $б_с$=0.7

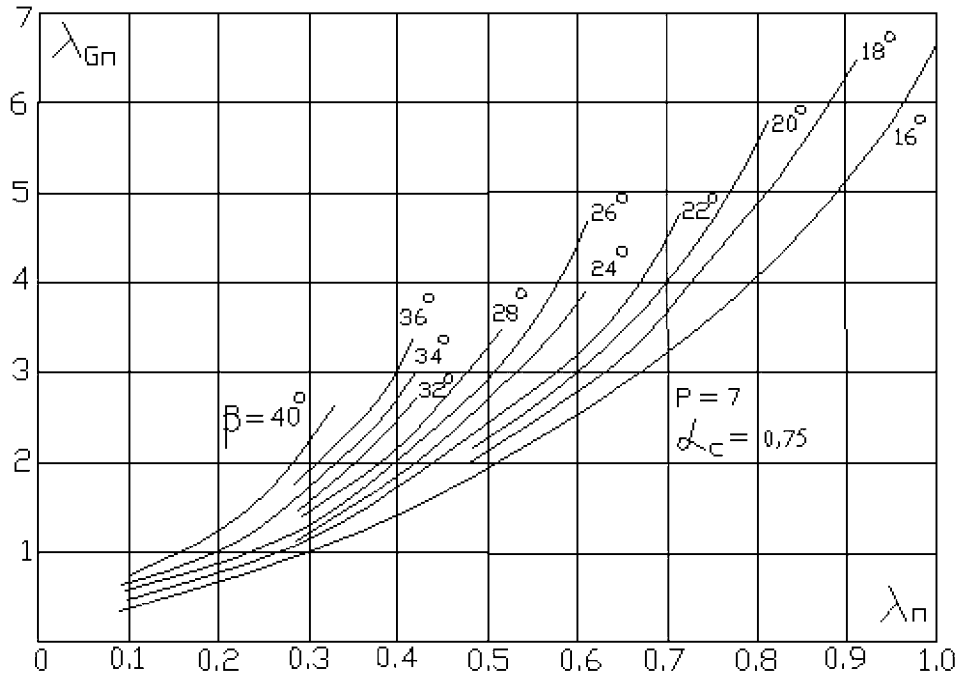


Рисунок П.2.19. - $л_{уп} = f(л_п, в, б_с, р)$ при р=7, $б_с$=0.75

Приложение 3

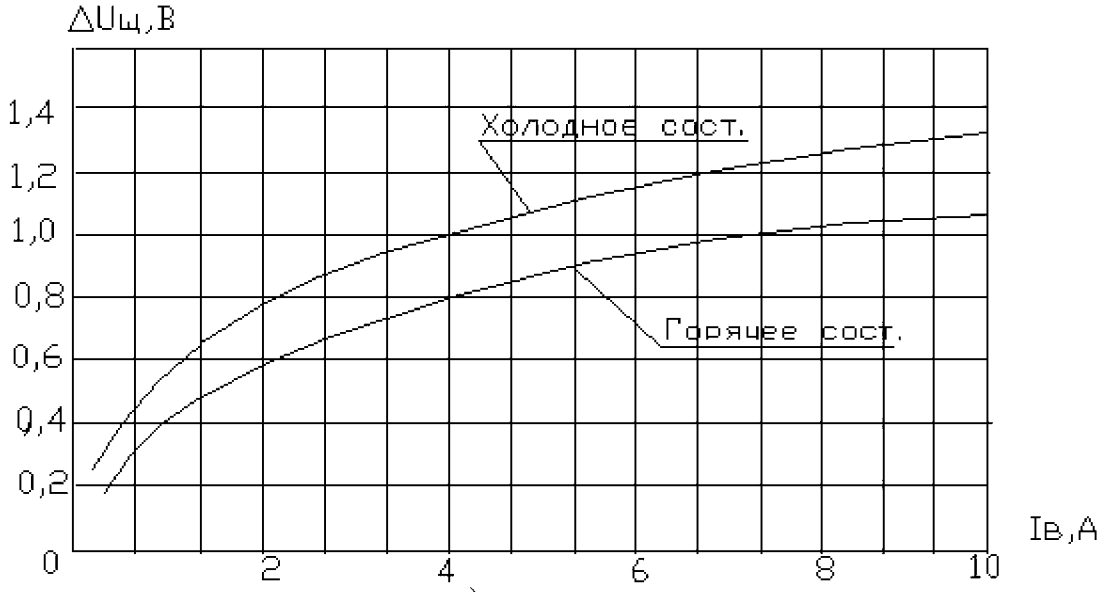
Экспериментально полученные зависимости, используемые при расчете генератора

Таблица 3.1-Кривая намагничивания стали марки 10

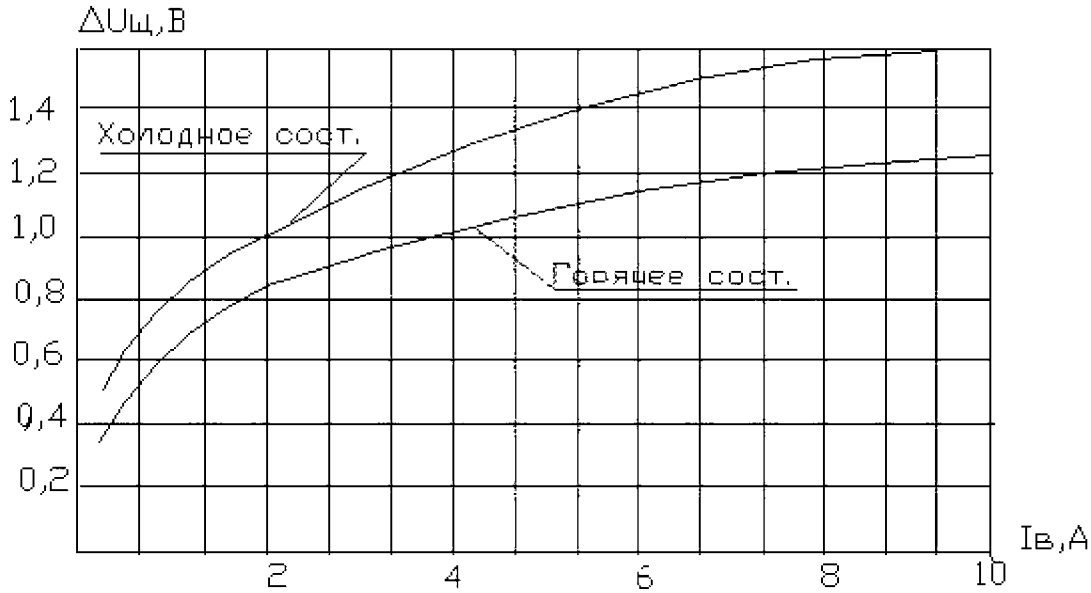
H,а/м / B,Тл	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,100	100	104	108	112	114	120	124	125	132	136
0,200	140	144	148	152	156	160	164	168	172	176
0,300	180	183	186	189	192	195	198	201	204	207
0,400	210	214	218	222	226	230	234	238	242	246
0,500	250	255	260	265	270	275	279	283	287	291
0,600	295	300	305	310	315	320	325	330	335	340
0,700	345	351	357	363	369	375	381	387	393	395
0,800	405	412	419	426	433	440	452	460	468	476
0,900	480	490	495	505	510	520	530	540	550	560
1,000	570	582	595	607	619	630	642	655	665	680
1,100	690	703	720	731	748	760	775	790	808	825
1,200	845	860	860	900	920	940	960	992	1020	1050
1,300	1080	1110	1140	1170	1220	1260	1300	1350	1390	1450
1,400	1490	1530	1590	1640	1700	1750	1830	1920	2010	2110
1,500	2270	2450	2560	2710	2880	3050	3200	3400	3650	3750
1,600	4000	4250	4500	4750	5000	5250	5580	5950	6230	6600
1,700	7050	7530	7950	8400	8650	9320	9800	10300	10800	11400
1,800	11900	12400	13000	13500	14100	14800	15600	16200	17000	17500
1,900	18800	19700	20700	21500	22600	23500	24500	25600	26500	27500
2,000	29000	30200	31500	32600	34200	36100	38000	39900	41800	43700
2,100	45600	47500	49300	51200	53100	55000	56900	58800	60700	62600

Таблица 3.2 Кривая намагничивания стали марки Э11, Э12, Э21

H,а/м / B,Тл	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,400	140	143	146	149	152	153	158	161	164	167
0,500	171	175	179	183	187	191	195	199	203	207
0,600	211	216	221	226	231	236	241	246	251	252
0,700	261	266	271	276	281	287	293	299	306	312
0,800	318	324	330	337	344	352	360	369	378	387
0,900	397	407	417	427	437	447	458	469	480	491
1,000	502	514	527	541	555	570	585	609	615	631
1,100	647	664	682	701	720	739	759	779	800	821
1,200	813	866	891	918	946	976	1010	1040	1070	1100
1,300	1140	1180	1220	1260	1300	1340	1380	1430	1480	1530
1,400	1580	1640	1710	1780	1860	1950	2050	2150	2260	2380
1,500	2500	2640	2790	2950	3110	3280	3460	3660	3880	4120
1,600	4370	4630	4910	5220	5530	5880	6230	6600	6980	7370
1,700	7780	8200	8630	9070	9630	10100	10600	11100	11600	12200
1,800	12800	13400	14200	14600	15200	15900	16600	17300	18000	18800
1,900	19700	20600	21600	22600	23600	24600	25600	26800	28200	29600
2,000	31000	32500	34300	36500	39000	42000	45500	49500	54500	59500
2,100	65500	72500	80000	88000	96000	104000	112000	120000	128000	136000
2,200	144000	152000	160000	168000	176000	184000	192000	200000	286000	216000
2,300	224000	232000	240000	248000	256000	264000	272000	280000	288000	296000
2,400	304000	312000	320000	328000	336000	344000	352000	360000	368000	376000
2,500	384000	392000	400000	408000	416000	424000	432000	440000	448000	456000



а)



б)

Рисунок П.3.1. Зависимость падения напряжения между щетками и контактными кольцами

$\Delta U_{щ}$ от величины тока возбуждения $I_в$

а) при номинальном давлении щеточных пружин.

б) при полностью изношенных щеточных пружинах.

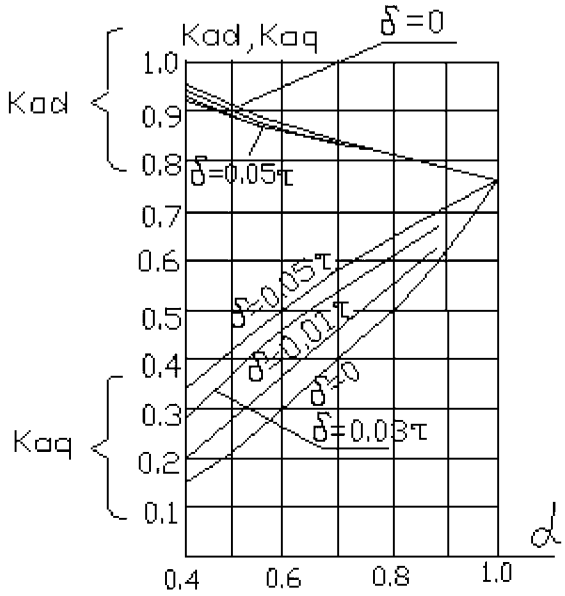


Рисунок П.3.2. - Кривые для определения коэффициентов реакции якоря Kad и Kaq при равномерном рабочем воздушном зазоре $\delta / \delta_{макс}$=1 , где τ – полюсное деление

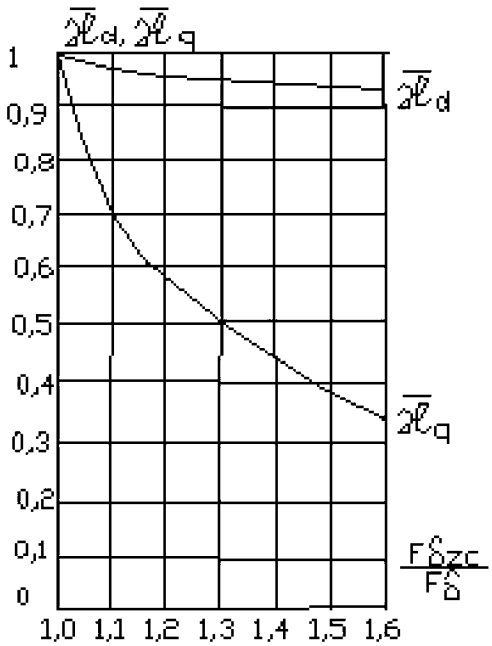


Рисунок. П.3.3 - Кривые для определения коэффициентов $\overline{\chi_d}$ и $\overline{\chi_q}$, учитывающих влияние тока нагрузки генератора на величину коэффициентов реакции якоря при равномерном рабочем воздушном зазоре $\delta / \delta_{макс}$=1

Приложение 4

Зависимости , учитывающие работу выпрямительных блоков в реальных условиях.

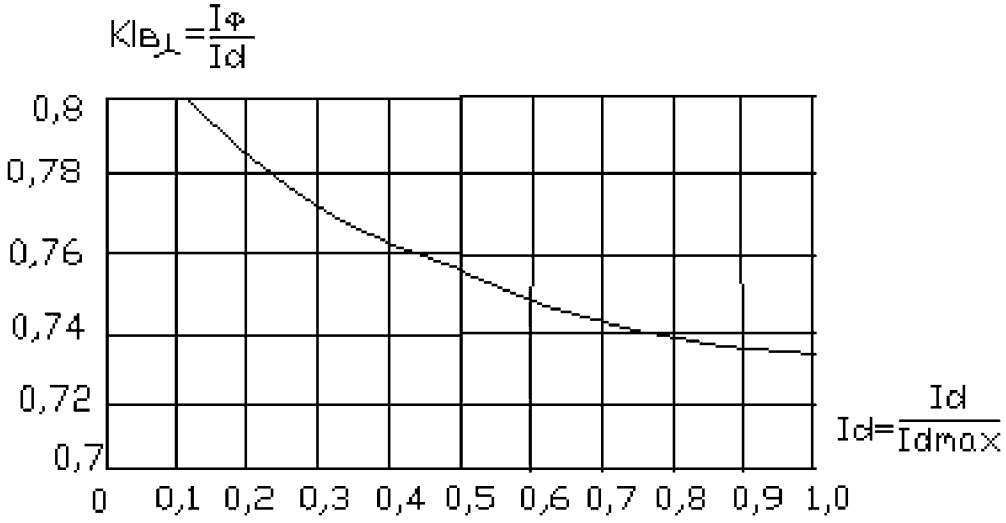


Рисунок. П.4.1. - Коэффициент выпрямления по току при соединении фаз обмотки статора генератора в звезду $K_{IB} = \frac{I_ф}{I_d}$, при соединении в треугольник $K_{IB\Delta} = \frac{K_{IB}}{\sqrt{3}}$.

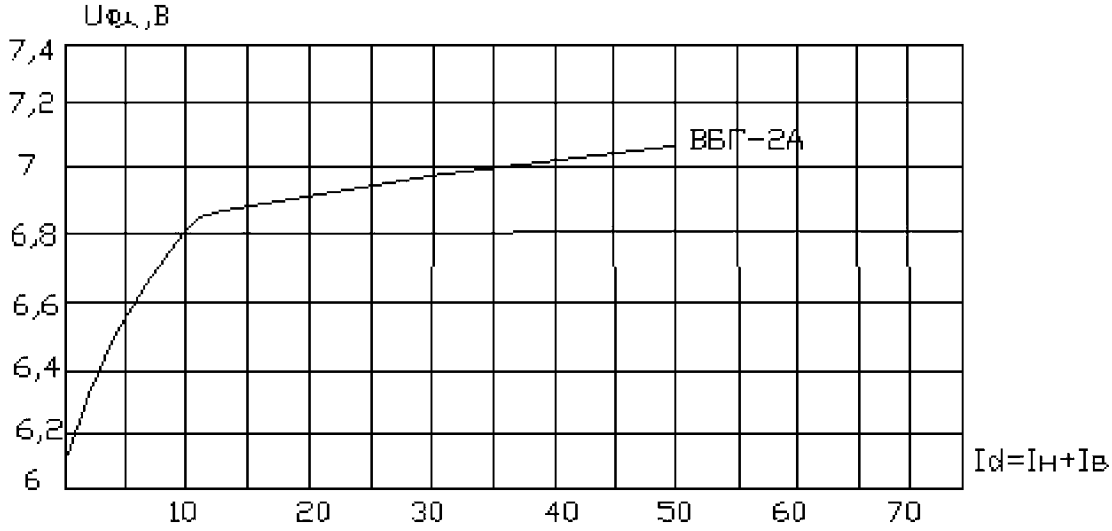
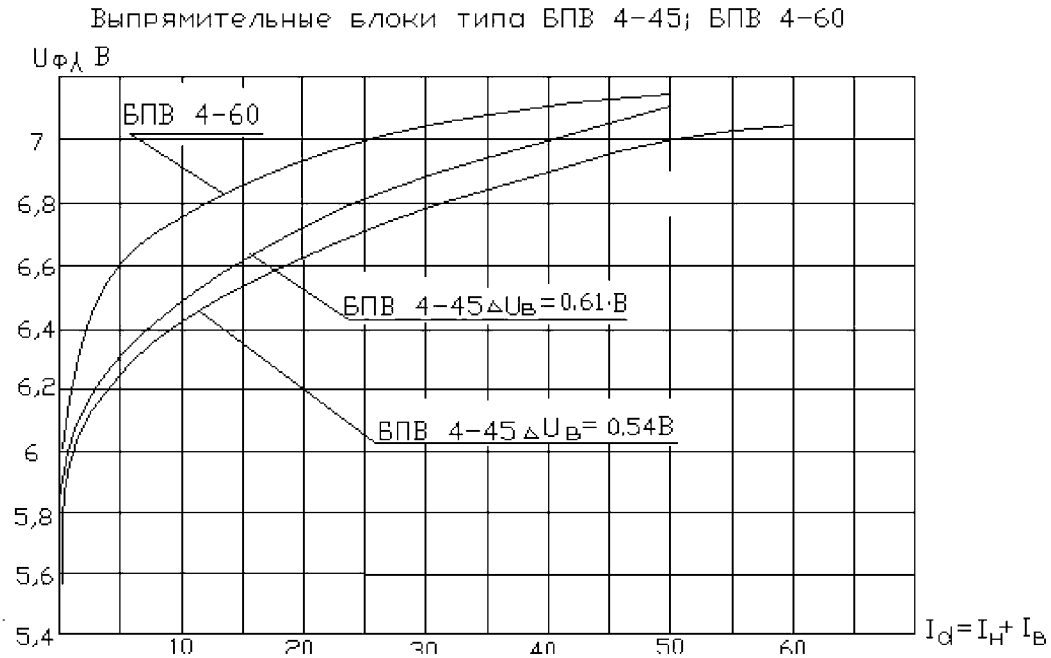


Рисунок П.4.2. - Зависимости напряжения фазы генератора $U_ф$ от его выходного I_d при выпрямительном блоке ВБГ-2А U_d=14B и соединении фаз в звезду, при соединении фаз в треугольник линейное напряжение $U_Л = U_{Ф\Delta} = \sqrt{3} \cdot U_ф$.



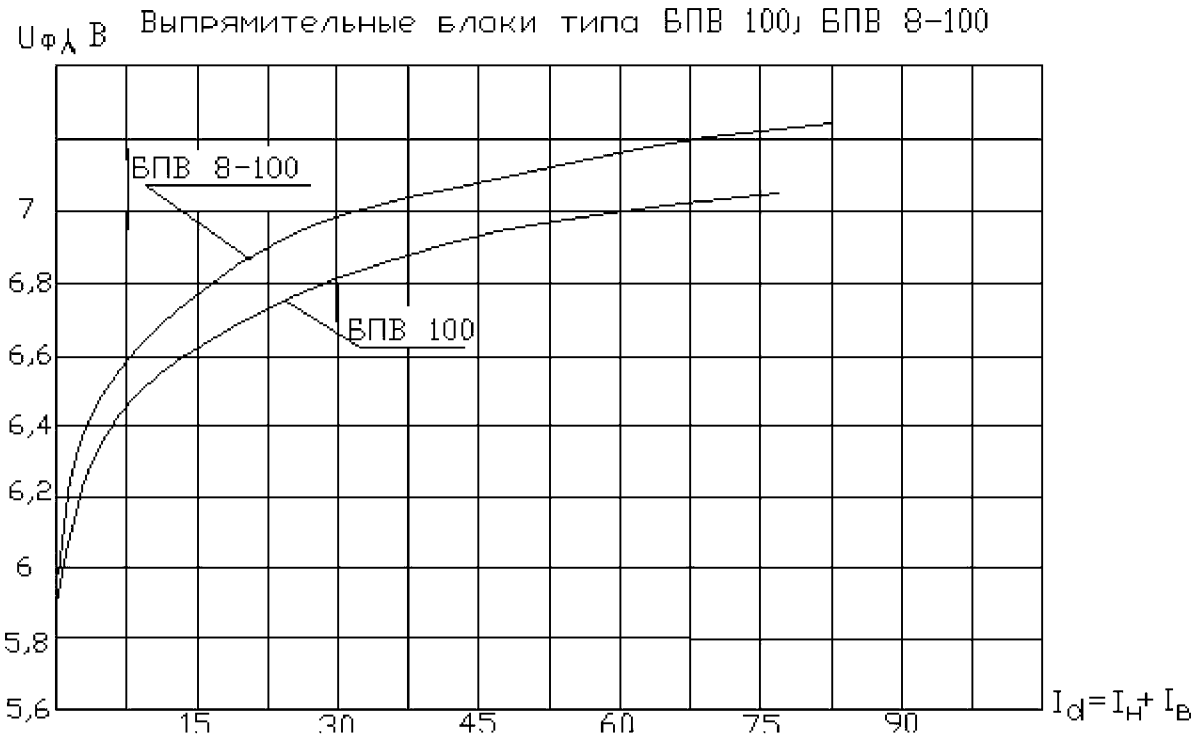
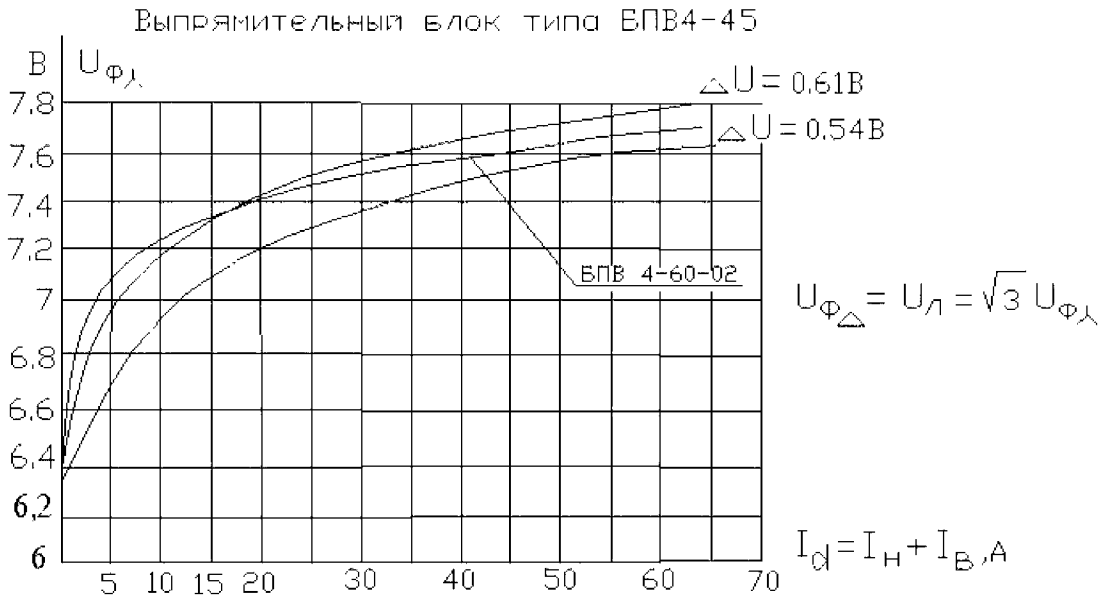


Рисунок. П.4.3.- Зависимости $U\phi$ =f(Id) при Ud=13В, $U_{Л} = U_{\Phi\Delta} = \sqrt{3} \cdot U\phi$



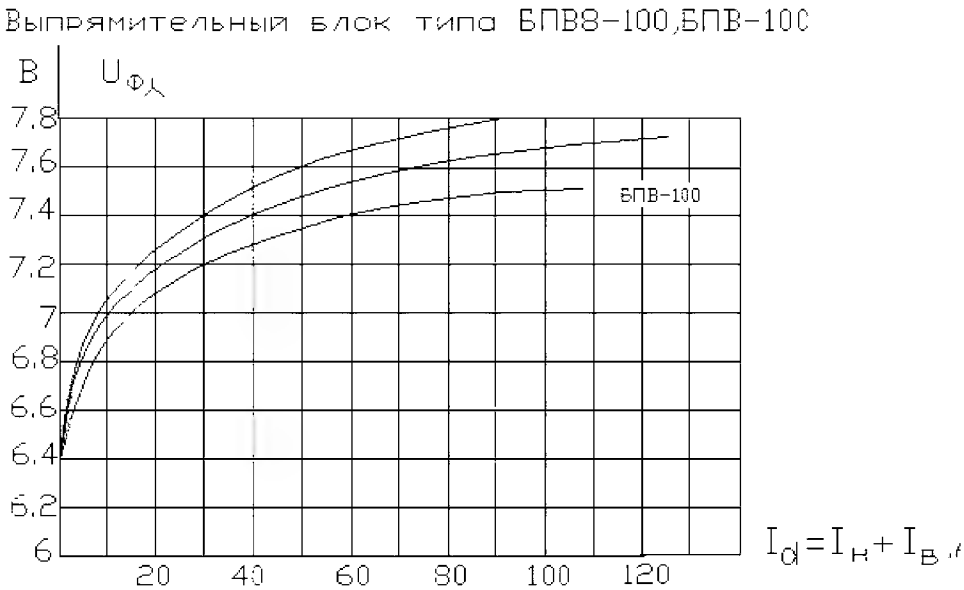
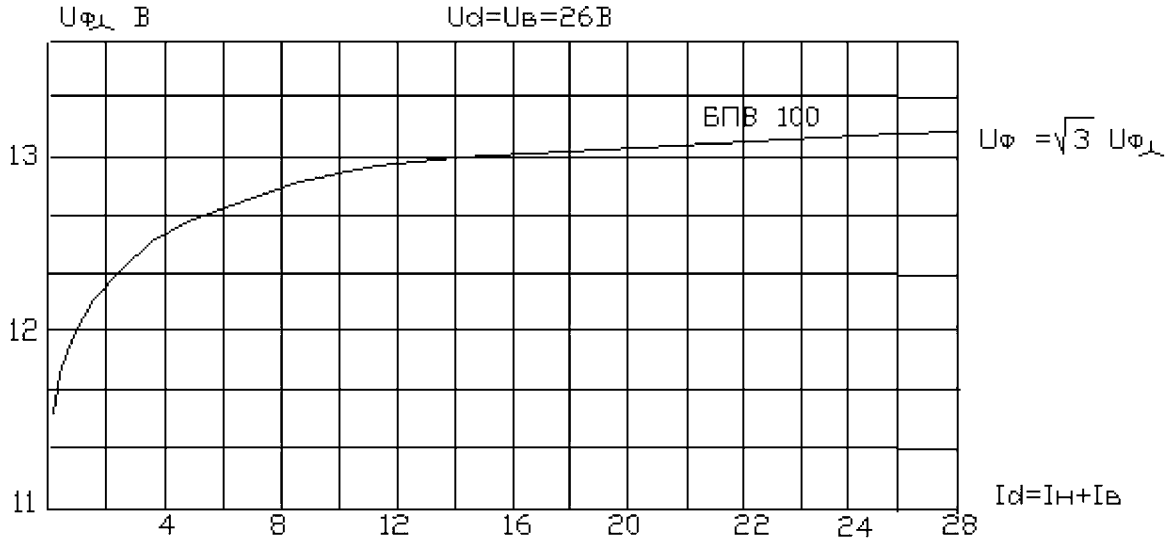
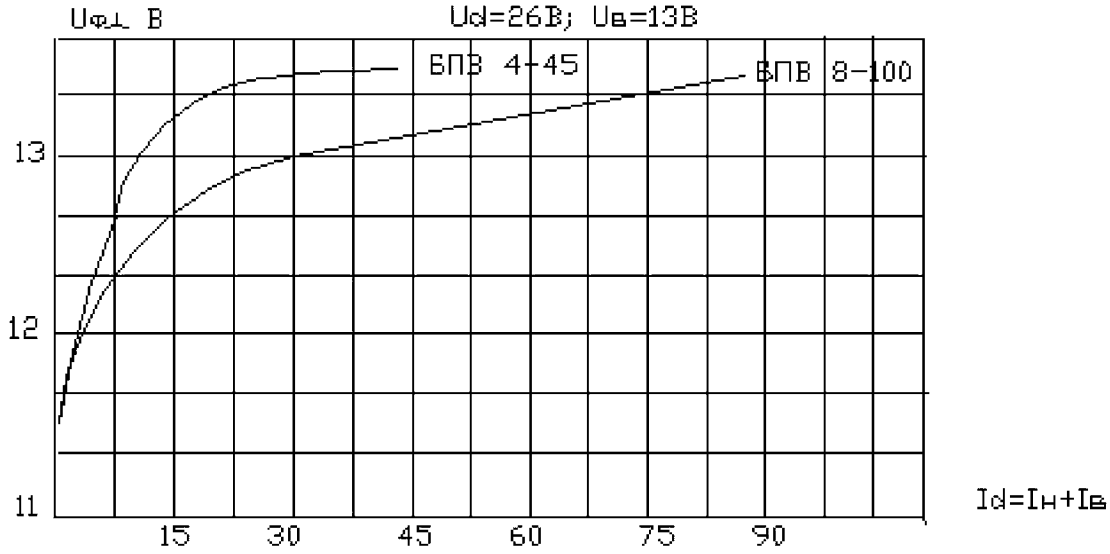


Рисунок П.4.4.- Зависимости $Uф$ =f(Id) при

Ud=14В, $U_Л = U_{Ф\Delta} = \sqrt{3} \cdot Uф$



а)

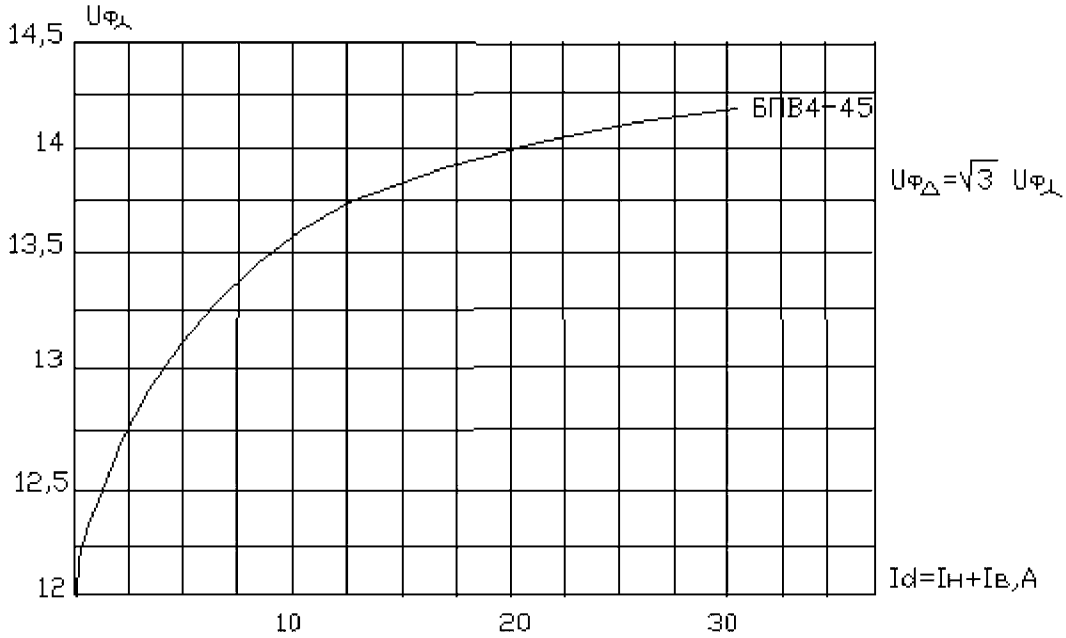


б)

Рисунок П.4.5.- Зависимости $U\phi$ =f(Id) при Ud=26В, $U_{Л} = U_{\Phi\Delta} = \sqrt{3} \cdot U\phi$

а) при напряжении на обмотке возбуждения Uв =26В

б) при Uв =13В



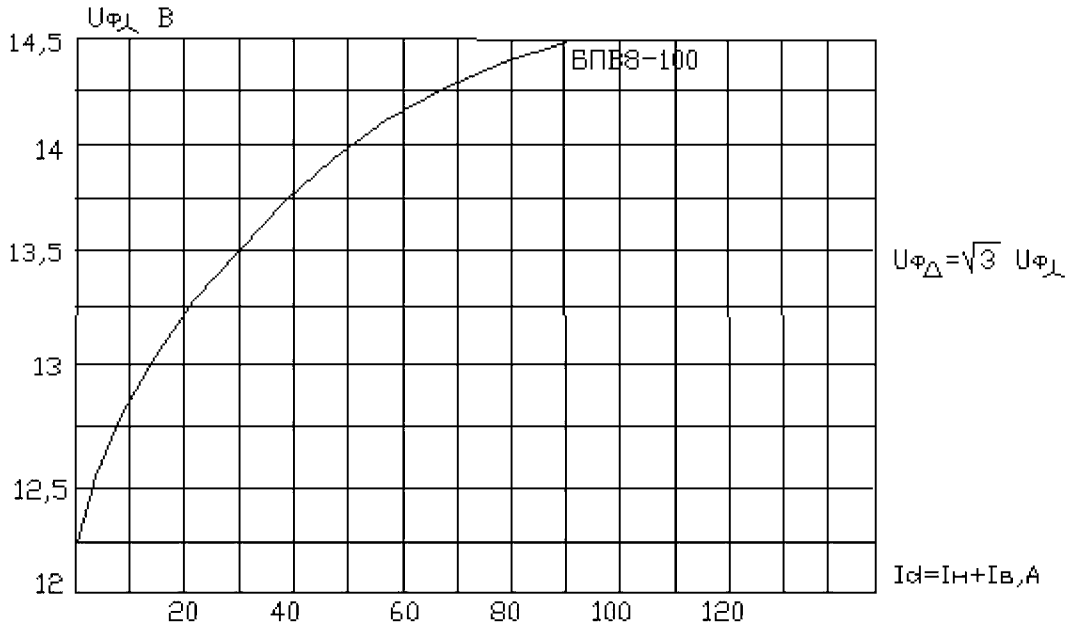


Рисунок П.4.6.- Зависимости $U\phi$ =f(Id) при Ud=28В, $U_{Л} = U_{\Phi\Delta} = \sqrt{3} \cdot U\phi$

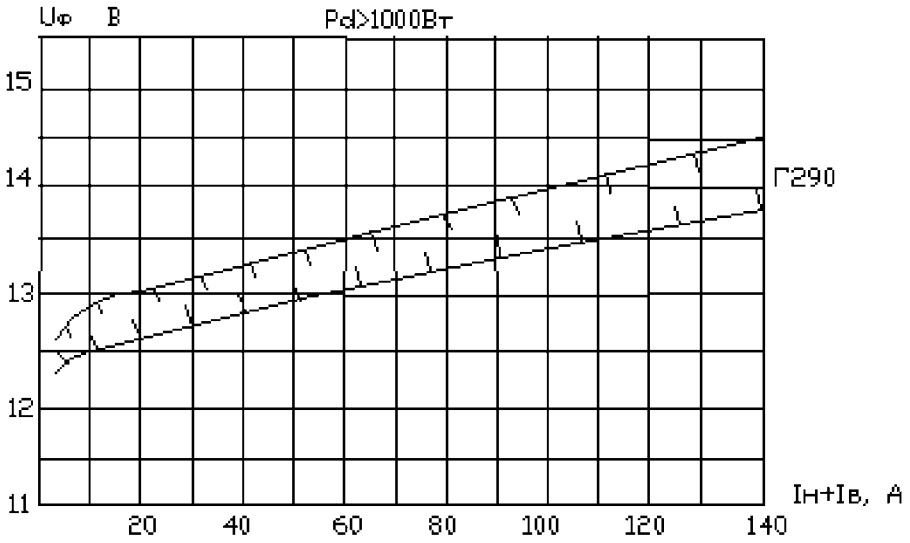
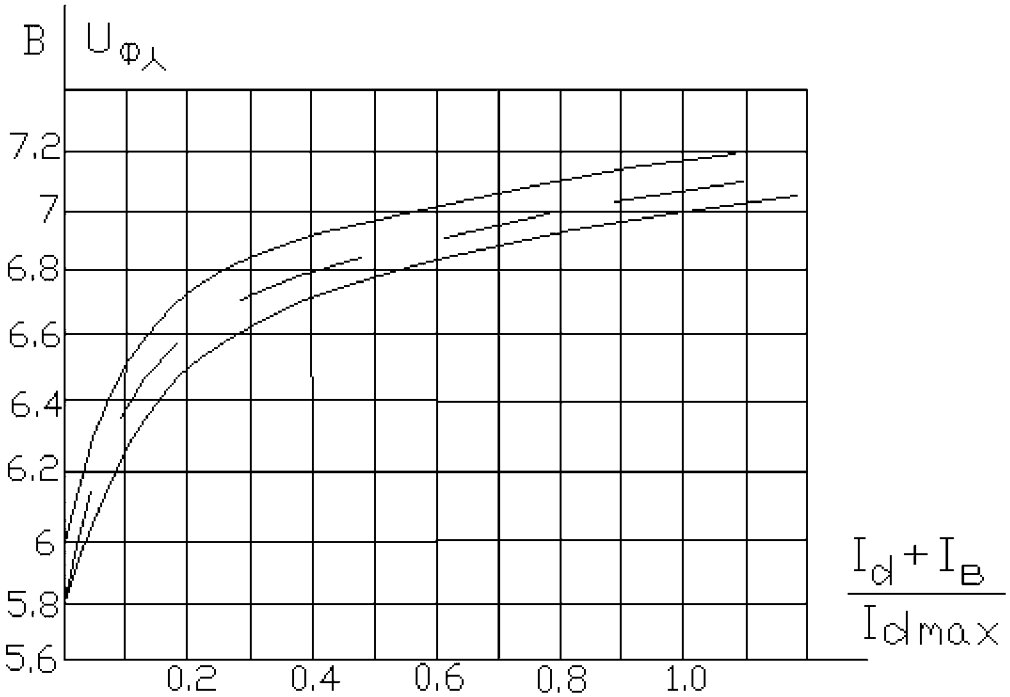
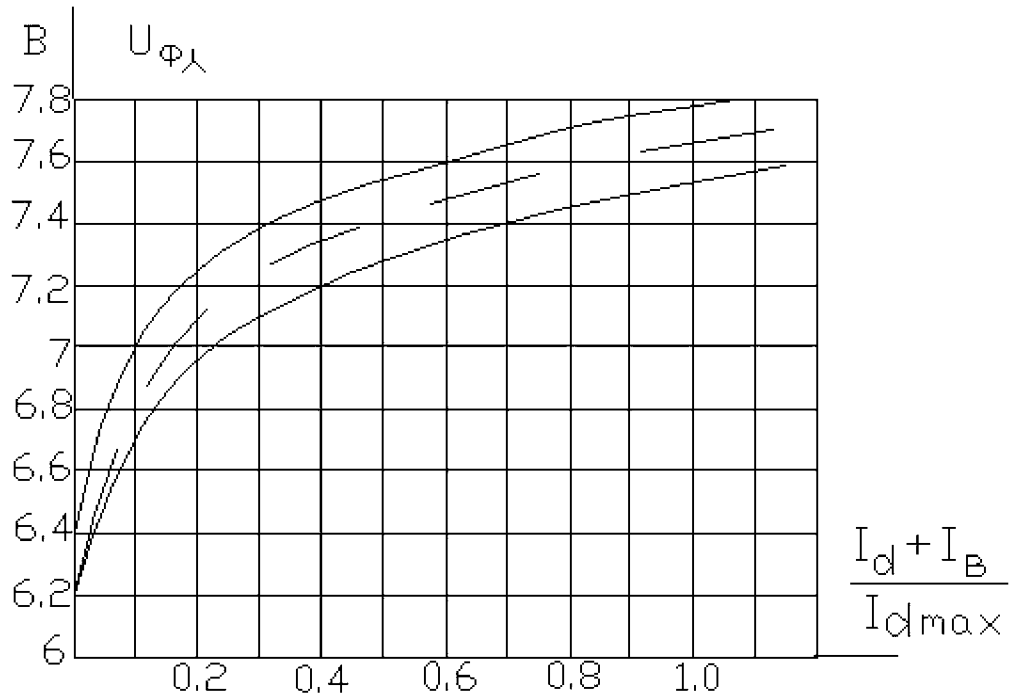


Рисунок П.4.7. -Зависимости $U\phi$ =f(Id) при Ud=28В для генератора Г-290 мощностью P>1000Вт , где верхняя граница зоны разброса $U\phi$ соответствует вентилям, имеющим прямое падение напряжения ΔU =0.8 – 0.9 В , нижняя граница зоны разброса $U_{\Phi\lambda}$ соответствует ΔU = 0.3 – 0.4В, $U_{Л}=U_{\Phi\Delta}=\sqrt{3}\cdot U_{\Phi\lambda}$



а)

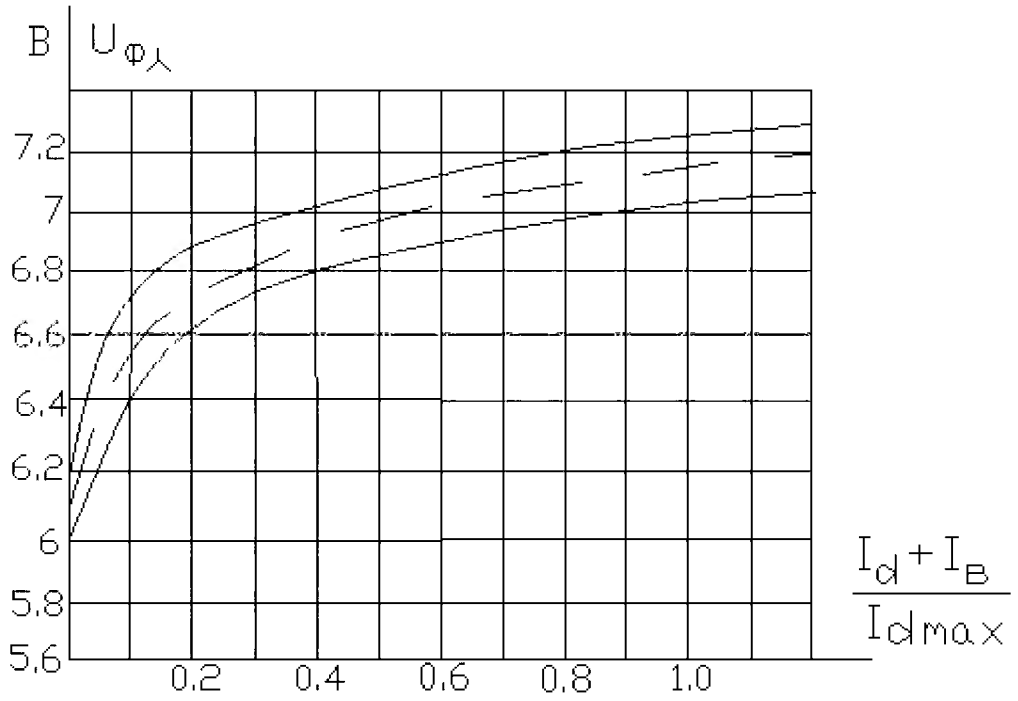


б)

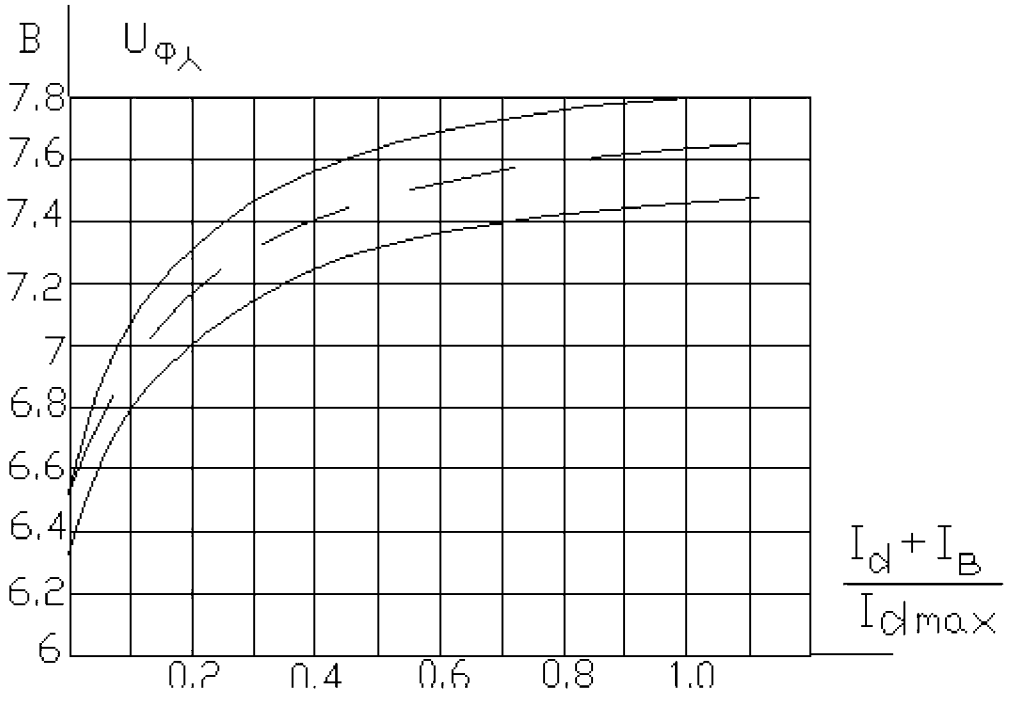
Рисунок П.4.8. - $U_Ф$=f(Id) для выпрямительных блоков БПВ 4-45, БПВ 6-50 при мощности P≤900 Вт

а) при Ud=13В

б) при Ud=14В



а)



б)

Рисунокп.4.9. $U_{Ф}$ =f(Id) для выпрямительных блоков БПВ -100, БПВ 8-100 при мощности P>900 Вт

а) при Ud=13В

б) при Ud=14В

Учебное издание

Акимов Андрей Валентинович

Методические указания к выполнению курсового проекта для студентов, обучающихся по специальности 140607 «Электрооборудование автомобилей и тракторов».

Под редакцией автора
Оригинал-макет подготовлен редакционно- издательским отделом МГТУ «МАМИ»

По тематическому плану внутривузовских изданий учебной литературы на 2011 г., доп.

Подписано в печать 13.10.11. Формат 60x90 1/16. Бумага 80 г/м^2
Гарнитура «Таймс». Ризография. Усл. печ. л. 3.3.
Тира 20 экз. Заказ № 134-11.

МГТУ «МАМИ»
107023, г. Москва, Б. Семёновская ул, 38.